

Uniwersytet Jagielloński

Instytut Botaniki

Maja Lisowska

SUKCESJA NA PRZEDPOLACH LODOWCÓW SPITSBERGENU
(SVALBARD, NORWEGIA)

Praca doktorska wykonana w Zakładzie Badań
i Dokumentacji Polarnej

pod kierunkiem prof. dr hab. Marii Olech

Kraków 2011

Składam serdeczne podziękowania prof. dr hab. Marii Olech za powierzenie mi tematu badań, umożliwienie udziału w wyprawie na Spitsbergen. Dziękuję także za wszelką pomoc i wiele cierpliwości podczas powstawania pracy.

Jestem gorąco wdzięczna kierownikowi i uczestnikom wyprawy Uniwersytetu Jagiellońskiego na Spitsbergen w 2008 roku, a zwłaszcza dr. Michałowi Węgrzynowi, za pomoc w trakcie badań terenowych na Gåsbreen. Dziękuję prof. dr hab. Wiesławowi Ziai z Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ za informacje dotyczące lodowca Gåsbreen, a mgr Justynie Dudek za udostępnienie map i zdjęć satelitarnych.

Stephanie Domaschke i Ólöf Birna Magnúsdóttir dziękuję za asystowanie podczas badań terenowych na Longyearbreen.

Dziękuję dr. Piotrowi Osyczce za pomoc w identyfikacji gatunków z rodzaju Cladonia i Stereocaulon, dr Beacie Cykowskiej z Instytutu Botaniki PAN za oznaczenie mszaków, a dr. inż. Pawłowi Nici z Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie za wykonanie chemicznych analiz gleby. Jestem wdzięczna prof. dr hab. Zbigniewowi Dzwonko za dyskusje dotyczące statystycznej analizy wyników.

Dziękuję również autorom fotografii zamieszczonych w niniejszej pracy (Justynie Dudek, Ólöf Birna Magnúsdóttir, Michałowi Węgrzynowi).

Dziękuję Mężowi i Rodzinie za nieskończoną cierpliwość. Bez ich wsparcia ukończenie pracy graniczyłoby z cudem...

Spis treści

1. Wstęp	6
2. Teren badań	11
2.1. Informacje ogólne	11
2.1.1. Lodowce i rzeźba terenu	12
2.1.2. Klimat.....	13
2.1.3. Podłoże geologiczne i gleby	17
2.1.4. Wody	18
2.1.5. Świat roślinny	19
2.1.6. Świat zwierzęcy	22
2.1.7. Ochrona przyrody	24
2.2. Charakterystyka badanych lodowców	25
2.2.1. Gåsbreen.....	25
2.2.2. Longyearbreen	30
3. Materiały i Metody	33
3.1. Badania terenowe	33
3.2. Analiza danych.....	38
4. Wyniki	41
4.1. Charakterystyka gatunków	41
4.1.1. Rośliny naczyniowe	42
4.1.2. Mszaki	48
4.1.3. Porosty.....	53

4.2. Gåsbreen	65
4.2.1. Kolonizacja i sukcesja na transekcje.....	67
4.2.1.1. Stadium 0 (0-425 m)	68
4.2.1.2. Stadium I (426-649 m)	68
4.2.1.3. Stadium II (650-768 m).....	69
4.2.1.4. Stadium III (769-1041 m).....	69
4.2.1.5. Stadium IV (1042-1237 m).....	70
4.2.2. Kolonizacja w pozostałych częściach strefy marginalnej	74
4.2.3. Wcześni i późni kolonizatorzy	75
4.2.4. Czynniki abiotyczne wpływające na sukcesję.....	77
4.2.4.1. Odległość od początku transektu i wiek podłoża.....	79
4.2.4.2. Ukształtowanie, ziarnistość i wilgotność podłoża	82
4.2.4.3. Właściwości chemiczne podłoża	84
4.3. Longyearbreen	86
4.3.1. Kolonizacja i sukcesja na transekcje.....	90
4.3.5.1. Stadium 0 (0-187 m)	91
4.3.5.2. Stadium I (188-230 m)	91
4.3.5.3. Stadium II (231-289 m).....	91
4.3.2. Stanowiska poza transektem - stadium III sukcesji.....	93
4.3.3. Enklawy roślin naczyniowych.....	94
4.3.4. Wcześni i późni kolonizatorzy	94
4.3.5. Czynniki abiotyczne wpływające na sukcesję.....	95

4.3.5.1. Odległość od czoła lodowca i wiek podłoża	96
4.3.5.2. Ukształtowanie, ziarnistość i wilgotność podłoża	96
4.3.5.3. Właściwości chemiczne podłoża	97
4.3.5.4. Działalność zwierząt	98
4.4. Porównanie badanych przedpola	99
5. Dyskusja	102
6. Wnioski	110
7. Bibliografia	111
8. Uzupełnienie	122
8.1. Tabela korelacji porządku rang Spearmana dla zmiennych notowanych na transekcje wzdłuż przedpola Gåsbreen	122
8.2. Tabela korelacji porządku rang Spearmana dla zmiennych notowanych na transekcje wzdłuż przedpola Longyearbreen	123

1. Wstęp

Procesy kolonizacji i sukcesji pierwotnej, czyli zasiedlania jałowego podłoża przez żywe organizmy, są niezwykle rzadko obserwowane w warunkach naturalnych. Do nielicznych miejsc, w których spełnione są warunki do zaistnienia tych zjawisk, należą obszary zalane lawą po wybuchu wulkanów, wynurzające się z morza wulkaniczne wyspy i tereny świeżo odsłonięte spod lodu. Stanowią one rodzaj naturalnego laboratorium, w którym śledzić można formowanie się ekosystemu od najwcześniejszych stadiów.

Globalne zmiany klimatu w ostatnich dziesięcioleciach, w tym najbardziej spektakularne zjawisko wzrostu temperatury, są bardzo szeroko udokumentowane oraz monitorowane (m.in. Solomon i in., 2007; Arndt i in. 2010). Ocieplenie jest najbardziej widoczne od lat 70-tych XX wieku: średnia roczna temperatura na świecie wzrosła w latach 1901-1940 o $0,35^{\circ}\text{C}$, a w latach 1970-2007 roku o $0,55^{\circ}\text{C}$, i jest to statystycznie znacząca różnica (Trenberth i in. 2007). Dekada 2000-2009 była najcieplejszą w ostatnich dziesięcioleciach (Menne, Kennedy 2010).

Wzrostowi temperatury towarzyszą zmiany ilości opadów, zróżnicowane w różnych szerokościach geograficznych. Na półkuli północnej na obszarze powyżej 30°N w ciągu całego XX wieku suma rocznych opadów wzrastała, natomiast w tropikach od lat 70-tych XX wieku przeważa trend odwrotny (Trenberth i in. 2007). Najgwałtowniejsze zmiany klimatu mają obecnie miejsce w obszarach polarnych obu półkul i tam również obserwuje się szybką odpowiedź ekosystemów na zmianę warunków. W przypadku Arktyki procesy te można śledzić bardziej dokładnie, niż w Antarktyce, z racji większej liczby dostępnych danych.

Mimo że pierwsze serie pomiarów temperatury powietrza w Arktyce pochodzą już z drugiej połowy XIX wieku, szczegółowe dane zaczęto gromadzić po II wojnie światowej. Można więc w sposób dokładny obserwować zmiany temperatury w Arktyce w ciągu około 60 ostatnich lat (Przybylak 2007b). Silne ocieplenie w Arktyce zaczęło być widoczne od lat 90-tych XX wieku, z około 20-letnim opóźnieniem w stosunku do innych rejonów Ziemi (Przybylak 2007a), jednak obecnie właśnie w Arktyce wzrost temperatury jest największy (Menne, Kennedy 2010). Średnia roczna temperatura powietrza w Arktyce wzrosła w latach 1995-2005 o ponad 1°C w stosunku do średniej z okresu 1951-1990 (Przybylak 2007a).

Jednym z najbardziej widocznych skutków globalnego ocieplenia jest wycofywanie się lodowców na całym świecie. Dokumentacja zmian zasięgów i miąższości lodowców od początku XX wieku jest bardzo bogata i obejmuje zarówno rejony polarne, jak i góry. Dane

zgrupowane w ramach międzynarodowego monitoringu lodowców (World Glacier Monitoring Service) jednoznacznie ukazują wyraźny zanik lodowców na wszystkich kontynentach, postępujący zwłaszcza w drugiej połowie XX wieku (Zemp i in. 2008). Przyspieszenie recesji lodowców skutkuje większym tempem odsłaniania się nowych fragmentów podłoża. Dynamika procesów kolonizacji i sukcesji wzrasta i otwierają się nowe możliwości prowadzenia badań nad tymi zjawiskami.

Od zakończenia Małej Epoki Lodowej na Svalbardzie również obserwuje się postępującą recesję lodowców (Błaszczuk i in. 2009). Zmniejszeniu ulega zarówno miąższość lodowców, jak i ich zasięg. Wyniki pomiarów zarówno z północno-zachodniego Spitsbergenu (m. in. Moreau i in. 2005), jak i z południa wyspy (m. in. Ziaja, Ostafin 2007) wskazują na nasilenie procesu recesji od lat 80-tych XX wieku, co jest zgodne z tendencją zmiany temperatury w tym okresie.

Historia studiów nad kolonizacją i sukcesją roślinności na przedpolach lodowców sięga początku XX wieku, choć najwięcej tego typu badań pochodzi z ostatnich dekad, w związku z przyspieszonym tempem recesji lodowców na całym świecie. Pierwsze opublikowane obserwacje, w trakcie których dokonano charakterystyki warunków ekologicznych na przedpolach cofających się lodowców (Cooper 1923a), jak również opisu zbiorowisk roślinnych w miejscach o różnym wieku podłoża oraz strategii adaptacyjnych pionierskich gatunków (Cooper 1923b), pochodzą z Glacier Bay w południowo-wschodniej Alasce. Podczas tych badań wyznaczono stałe powierzchnie badawcze, na których w kolejnych latach śledzono proces sukcesji (Cooper 1931; 1939). Badania w Glacier Bay obejmowały również wpływ roślinności na rozwój gleb w obrębie stref marginalnych lodowców (Crocker, Major 1955).

W połowie XX wieku rozpoczęto badania nad sukcesją roślinną na przedpolach lodowców alpejskich. Wyniki pierwszych prac wykazały, że można dość dokładnie oszacować wiek moreny przez określenie liczby gatunków roślin na jednostkę powierzchni oraz stopnia pokrycia (Palmer, Miller 1961). W latach 70-tych XX wieku pojawiły się pierwsze prace z obszaru gór Skandynawii (Worsley, Ward 1974), a dekadę później z „antypodów” - gór Nowej Zelandii (Sommerville i in. 1982). Alpy pozostały natomiast również w późniejszych latach miejscem o dużym znaczeniu dla badań nad różnorodnymi aspektami pierwotnej sukcesji roślinnej (m. in. Stöcklin, Bäuml 1996).

Obecnie badania w zakresie pierwotnej sukcesji na przedpolu lodowców prowadzone są w obszarach górskich całego świata – w tym na Alasce, gdzie kontynuuje się obserwacje

rozpoczęte niemal 100 lat temu przez Coopera (Chapin i in. 1994), w Górach Skalistych w USA (Jumpponen i in. 1999; Ohtonen i in. 1999), w Alpach (m. in. Raffl, Erschbamer 2004), w Kanadzie (Mori i in. 2007) i górach Skandynawii (Robbins, Matthews 2009). Znane są także wyniki badań z terenów położonych na południe od równika – z Mount Kenya, drugiej najwyższej góry Afryki (Mizuno 1998). Intensywne studia prowadzi się również w obszarach polarnych. Najwięcej danych z półkuli północnej pochodzi z Arktyki norweskiej (Svalbard, patrz niżej) i kanadyjskiej (Jones, Henry 2003), natomiast z półkuli południowej z Szetlandów Południowych w Antarktyce Zachodniej (Olech 1996; Olech, Massalski 2001) oraz z subantarktycznych Wysp Kerguelena (Frenot i in. 1998). Problematyka tych badań obejmuje często nie tylko roślinność, lecz również inne grupy organizmów, takie, jak mikroorganizmy glebowe (Ohtonen i in. 1999), w tym grzyby mikoryzowe (Fujiyoshi i in. 2010), czy bezkręgowce (Kaufmann 2002), oraz ich wzajemne interakcje.

Badania nad roślinnością na terenach świeżo odsłoniętych spod lodu na terenie Svalbardu zapoczątkował Polak, Marian Kuc (1964), obserwacjami z okolic Polskiej Stacji Polarnej Hornsund na południu Spitsbergenu. Od lat 80-tych XX wieku prowadzono badania na przedpolach lodowców w pobliżu międzynarodowego kompleksu stacji badawczych w Ny Ålesund, na północno-zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu (Brossard 1985 za: Moreau i in. 2008). Z tego terenu pochodzi znacząca część najnowszych światowych wyników badań w zakresie zagadnień związanych z sukcesją na przedpolach lodowców. W ostatnich latach prowadzono tu między innymi badania nad ewolucją zbiorowisk roślinnych (Hodkinson, i in. 2003; Moreau i in. 2008; Moreau i in. 2005), gatunkami pionierskimi (Nakatsubo i in. 2010) oraz studia ekologiczne (m. in. Nakatsubo i in. 2005; Uchida i in. 2006; Yoshitake i in. 2007). Analizowano również, jaką rolę odgrywają w procesie sukcesji mikroorganizmy glebowe (Bekku 2004), w tym grzyby mikoryzowe (Fujiyoshi i in. 2010).

O ile Ny Ålesund można uznać za poligon badawczy w zakresie studiów nad procesami sukcesji pierwotnej, bardzo niewiele wyników jest znanych z innych części Svalbardu. Tishkov (1986) porównywał tempo sukcesji na przedpolach lodowców na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu z sukcesją na wynurzonych stosunkowo niedawno terasach morskich i formujących się na tym terenie solniskach. Ziaja i Dubiel (1996) badali sukcesję roślin naczyniowych na przedpolach wybranych lodowców na Ziemi Nordenskiöld na środkowym Spitsbergenu. Jeśli chodzi o południe Spitsbergenu, oprócz pionierskiej pracy Kuca (1964), rozpoczęto w latach 70-tych XX wieku badania roślinności i gleb na przedpolu lodowca Werenskiöldbreen w pobliżu Polskiej Stacji Polarnej (Fabiszewski 1975; Pirożnikow,

Górniak 1992), które w chwili obecnej nadal są kontynuowane. Najnowsza praca z tego terenu (Wojtuń i in. 2008) prezentuje wyniki badań przeprowadzonych ze szczególnym naciskiem na rośliny naczyniowe i sinice.

Najlepiej opracowanymi zagadnieniami dotyczącymi sukcesji na Svalbardzie są problemy związane z przemianą zbiorowisk roślin naczyniowych. Inne grupy organizmów składające się na roślinność stref marginalnych lodowców – mszaki, a zwłaszcza porosty, były często pomijane lub traktowane ogólnie. Jeśli chodzi o mszaki, jedynie Kuc (1996) podawał konkretne gatunki mszaków zasiedlających tereny w pobliżu lodowców. W przypadku porostów, w pracach z okolicy Ny Ålesund wyszczególniano duże krzaczkowate gatunki naziemne, np. *Cetrariella delisei* (Hodkinson i in. 2003; Moreau i in. 2005). W badaniach prowadzonych przez Moreau i in. (2005) z ogólnej grupy mszaków wyodrębniano *Sanionia uncinata* i rodzinę *Polytrichaceae*. Naziemne porosty wielkoplechowe, *Cladonia mitis*, *Cetraria* sp. i *Stereocaulon alpinum* oraz rodzaje mchów: *Bryum*, *Drepanocladus* i *Polytrichum* wyszczególniano również w późniejszych badaniach tego zespołu (Moreau i in. 2009). Nie ma natomiast danych dotyczących innych gatunków. Jeśli chodzi o pozostałe rejony Arktyki, poszczególne gatunki mszaków były analizowane jedynie przez Jones i Henry'ego (2003). Organizmy zarodnikowe, jakimi są mszaki i porosty, stanowią ważny składnik tworzącej się na przedpolach lodowców tundry, ważnym jest więc uzupełnianie informacji na ten temat.

Obecne badania, prowadzone na dwóch dotychczas nieopracowywanych przedpolach lodowców, na południu oraz w środkowej części Spitsbergenu, koncentrowały się na kolonizacji i sukcesji pierwotnej roślin naczyniowych, mszaków i porostów. Główne ich założenia to:

- prześledzenie kolejności wkraczania poszczególnych grup organizmów i konkretnych gatunków na badanych przedpolach oraz sukcesji – wymiany gatunków, a także określenie głównych stadiów sukcesji; badania prowadzono metodą chronosekwencji, która pozwala na uchwycenie trendów zmian roślinności od najmłodszych do najstarszych fragmentów badanego terenu;
- określenie grup gatunków będących „wczesnymi” i „późnymi” kolonizatorami;
- rozszerzenie opisu kolonizacji i sukcesji o gatunki mszaków i porostów;
- określenie wpływu poszczególnych czynników abiotycznych na procesy kolonizacji i sukcesji na badanych przedpolach;

- zbadanie wspólnych cech procesu sukcesji na przedpolach lodowców Spitsbergenu przez porównanie wyników z dostępnymi danymi z innych części tego terenu.

Istotna wydaje się być również perspektywa długofalowego monitoringu na badanych przedpolach w przyszłości. Wyniki badań porównawczych pozwolą śledzić dalsze przemiany roślinności, również w kontekście zmieniającego się klimatu.

2. Teren badań¹

2.1. Informacje ogólne

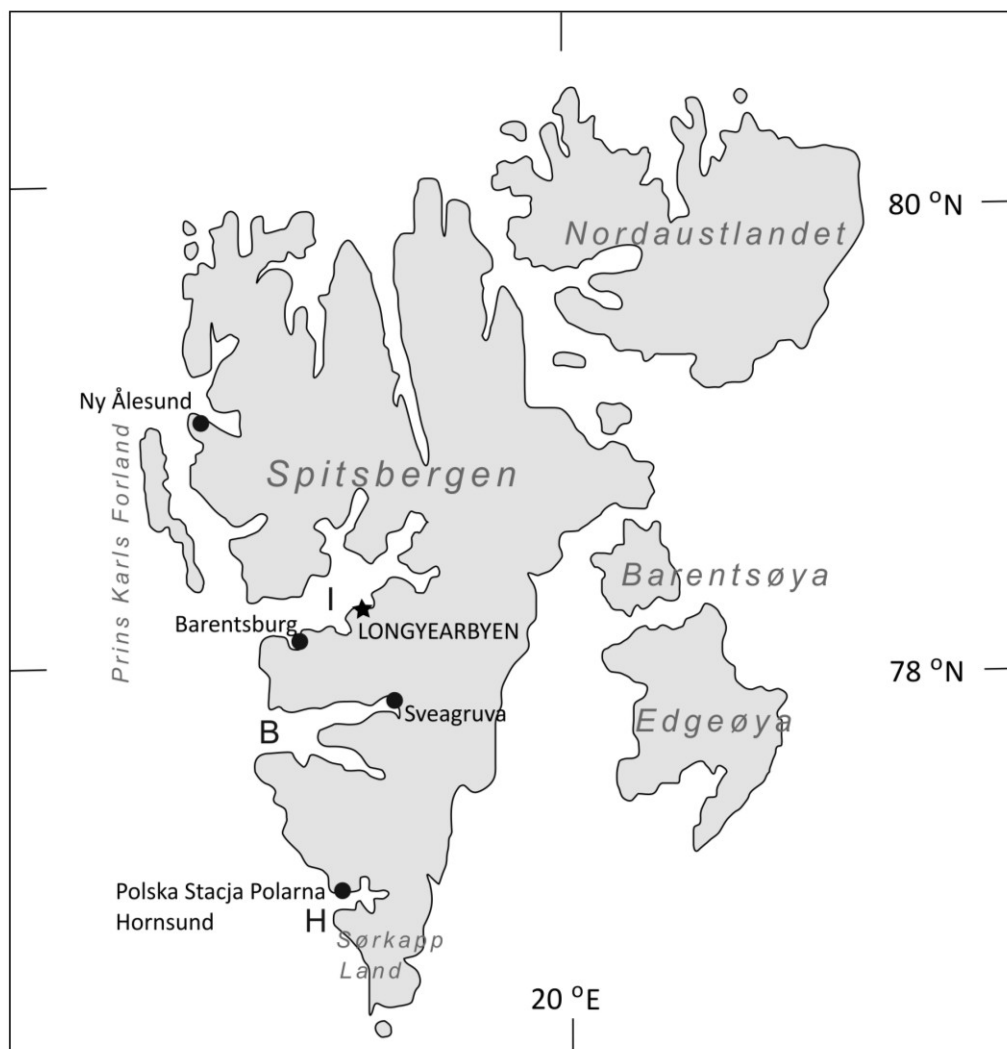
Archipelag Svalbard położony jest około 800 km na północ od wybrzeży Norwegii, na Morzu Barentsa, w granicach 74-81°N i 10-30°E (Ryc. 1). Łączna powierzchnia wysp archipelagu, z których największą jest Spitsbergen, wynosi około 63 000 km² (Fookes 2008). Administracyjnie do Svalbardu zalicza się również niewielką wyspę Bjørnøya, leżącą w połowie odległości między wybrzeżami Norwegii i Spitsbergenu, lecz nie zawsze ujmowana jest ona w opracowaniach przyrodniczych. Od zakończenia I wojny światowej, na mocy podpisanego w 1920 roku Traktatu Spitsbergeńskiego, Svalbard pozostaje prowincją norweską. Obywatele państw, które podpisały traktat, mają jednakże równe z obywatelami Norwegii prawa do połowów, polowań, prowadzenia działalności morskiej, przemysłowej, wydobywczej i handlowej oraz do prowadzenia badań naukowych, regulowanych miejscowymi przepisami. Polska podpisała Traktat Spitsbergeński w roku 1931.

Na Svalbardzie, w przeciwieństwie do innych arktycznych rejonów, nie było rdzennych mieszkańców. Od XVI wieku osiedlali się tu wielorybnicy z różnych stron Europy, a w późniejszym czasie norwescy i rosyjscy myśliwi (traperzy). Od XIX wieku Spitsbergen i sąsiednie wyspy służyły wielokrotnie za punkt startowy dla polarnych ekspedycji naukowych, zaś w XX wieku zaczęto eksploatować węgiel oraz, w mniejszym zakresie, inne kopaliny. Obecnie na Svalbardzie mieszka około 2800 osób. Trudno mówić o „stałych” mieszkańcach, gdyż większość z nich jest zatrudnionych na krótkoterminowych kontraktach i wyjeżdża po zakończeniu pracy. Jedynie nieliczne osoby decydują się na długoletnie mieszkanie w trudnych arktycznych warunkach klimatycznych.

Longyearbyen, największe osiedle (ok. 2000 mieszkańców), jest nieformalną stolicą Svalbardu. Oprócz siedziby gubernatora znajdują się tu szpital, poczta i inne instytucje publiczne, jak również jedyne na Svalbardzie międzynarodowe lotnisko i duży port. W Longyearbyen zlokalizowane jest również centrum naukowo – dydaktyczne, The University Centre in Svalbard (UNIS). Mieszkańcy tej osady pracują w większości w kopalniach węgla, jednak w ostatnich latach branża turystyczna i badania naukowe również stały się znaczącymi źródłami zatrudnienia. Poza Longyearbyen całorocznymi osadami są dwa górnicze osiedla:

¹ Źródłem informacji o Svalbardzie, oprócz cytowanych w tekście publikacji, jest oficjalny serwis internetowy Gubernatora Svalbardu (<http://www.sysselmannen.no>).

rosyjski Barentsburg oraz norweskie Sveagruva, oraz dwie stacje badawcze: międzynarodowy kompleks Ny Ålesund i Polska Stacja Polarna Hornsund (Ryc. 1). Na wybrzeżach Spitsbergenu funkcjonuje ponadto kilka polskich baz naukowych działających latem, zarządzanych przez wyższe uczelnie.



Ryc. 1. Svalbard – mapa ogólna. Główne fiordy: I – Isfjorden, B – Bellsund, H – Hornsund.

2.1.1. Lodowce i rzeźba terenu

Około 60% powierzchni Svalbardu jest zlodowacone (Hagen i in. 1993; Jónsdóttir 2005) (Ryc. 2). Dominują tzw. lodowce sieciowe, inaczej nazywane spitsbergeńskimi, których jezory i pola firnowe łączą się przez przełęcz górskie w większą całość; ponad lód wystają tylko najwyższe szczyty gór w formie nunataków (Błaszczyk i in. 2009; Hagen i in. 1993).

Oprócz nich, zwłaszcza w zachodniej części Svalbardu, występują również mniejsze lodowce typu górskiego (Błaszczuk i in. 2009). Większość lodowców jest politermalna, ich pola firnowe i wyżej położona część mają temperaturę ujemną, zaś temperatura strefy akumulacyjnej oscyluje około 0°C (Hagen i in. 1993). Dynamika pokrywy lodowej Svalbardu w znacznej mierze ukształtowała jego rzeźbę terenu.



Ryc. 2. Zdjęcie satelitarne Svalbardu (wykonane przez satelitę NASA Terra ASTER)

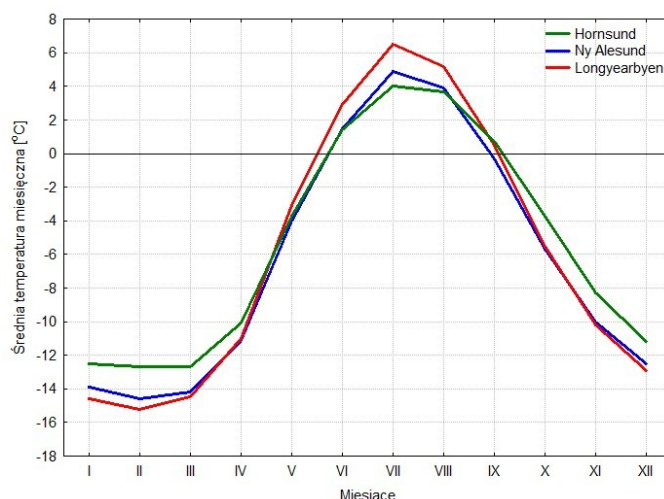
Linia brzegowa wysp Svalbardu jest dobrze rozwinięta, zwłaszcza zachodnie wybrzeże Spitsbergenu, które pocięte jest rozległymi fiordami. Charakterystyczne elementy krajobrazu to rozległe równiny nadmorskie i strome szczyty gór. Łańcuchy górskie o mniej więcej południkowym przebiegu zajmują całe wnętrze wyspy, a najwyższy szczyt, Newtontoppen, wznosi się na 1713 m n.p.m.

2.1.2. Klimat

Głównym czynnikiem warunkującym klimat Svalbardu jest położenie geograficzne oraz związane z tym dzień polarny i noc polarna. Na szerokości geograficznej Longyearbyen

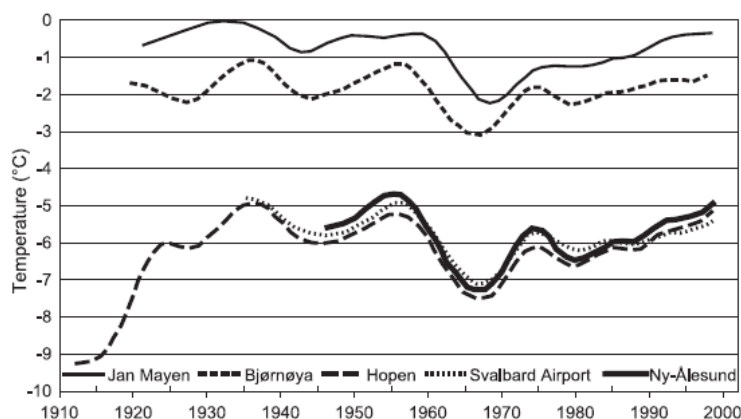
dzień polarny trwa od 20 kwietnia do 23 sierpnia, a noc polarna od 11 listopada do 30 stycznia. Specyficzny układ prądów morskich i cyrkulacja atmosferyczna sprawiają, że klimat Svalbardu jest równocześnie arktyczny i morski, z chłodniejszym latem i cieplejszą zimą, niż w większości miejsc na tej szerokości geograficznej (Fookes 2008; Eckerstorfer, Christiansen 2011). Ciepły Prąd Zachodniospitsbergeński, będący kontynuacją Gofsztromu, omywa zachodnie i północne wybrzeża Spitsbergenu, natomiast zimny prąd płynący ku południowi z Morza Barentsa, przemieszcza się wzdłuż jego wschodnich wybrzeży, okrążając następnie południowy przylądek wyspy (Sørkapp) i wciskając się między wody ciepłego prądu a wybrzeże. Zachodnia część archipelagu jest w lecie wolna od lodu i stanowi najdalej na północ wysunięty obszar Arktyki dostępny dla żeglugi (Hagen i in. 1993).

Średnia temperatura lipca zawiera się w przedziale 2-6°C (Brossard i in. 2002), w zimie średnia temperatura waha się około -15°C (Hagen i in. 1993). Najcieplejsza jest środkowa część Spitsbergenu, gdzie dociera ciepła woda Prądu Zachodniospitsbergeńskiego, natomiast na północy i południu Spitsbergenu średnie wartości temperatury są o kilka stopni niższe (Ryc. 3). Roczna suma opadów waha się w granicach od 200 mm w głębi Spitsbergenu, przez około 400 mm na zachodnim wybrzeżu, do, miejscowo nad dużymi lodowcami, ponad 2000 mm (Hagen i in. 1993). Pokrywa śnieżna zalega przez 8-10 miesięcy w roku, a wyżej w górach nawet przez cały rok (Eckerstorfer, Christiansen 2011). Charakterystyczne dla Svalbardu są duże gradienty przestrzenne warunków klimatycznych oraz duża zmienność pogody w czasie. Częstym zjawiskiem zimą są bardzo silne wiatry, latem zaś mgły, występujące zwłaszcza na wybrzeżu.

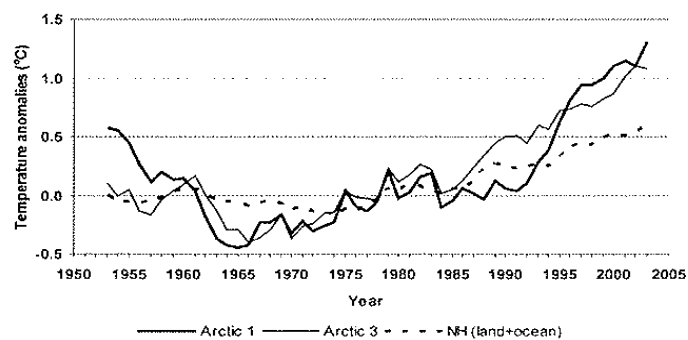


Ryc. 3. Średnie temperatury miesięczne w Polskiej Stacji Polarnej Hornsund, Longyearbyen i Ny Ålesund (dane z Meteorologisk institutt, <http://www.eklima.no>).

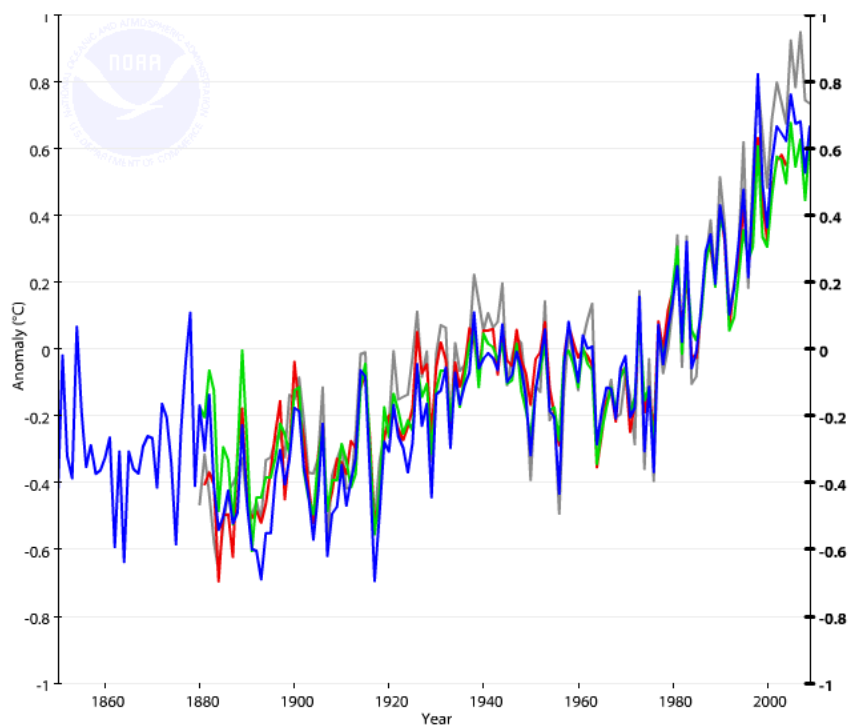
Ostatni chłodny okres w historii, zwany Małą Epoką Lodową, zakończył się na Svalbardzie pod koniec XIX w. (Svendsen, Mangerud 1997). Od początku XX wieku wyraźnie widoczne jest ocieplenie, mimo krótkoterminowych fluktuacji temperatury. W okresie 1936-2005 zanotowano dodatni trend wartości temperatury powietrza w miesiącach wiosennych (marzec – maj) i letnich (lipiec – sierpień) (Przybylak 2007a). Od 1912 roku do końca XX wieku średnia roczna temperatura powietrza w Longyearbyen (dane ze stacji meteorologicznej na lotnisku) wzrosła o 2,8% (Førland, Hanssen-Bauer 2003). Najgwałtowniejszy wzrost temperatury notuje się od lat 80-tych XX wieku. Ocieplenie obserwowane na Svalbardzie (Ryc.4) koresponduje ze wzrostowymi trendami temperatury w całej Arktyce (Ryc.5) i na świecie (Ryc.6). Klimat południowo-zachodniego Spitsbergenu w ciągu ostatnich 25-30 lat zmienił w kierunku ocieplenia, „oceanizacji” w rocznym przebiegu temperatury powietrza, wzrostu rocznych sum opadów oraz udziału opadów ciekłych, a także skrócenia czasu zalegania pokrywy śnieżnej i wzrostu zachmurzenia (Marsz, Styszyńska 2007). Od lat 80-tych XX wieku zanotowano wzrost zarówno rocznej sumy opadów (trend istotny statystycznie), jak i sumy opadów letnich, tzn. w lipcu i sierpniu (Ziaja i in. 2011, in press). Nastąpił także wyraźny wzrost udziału opadów ciekłych, ich intensywności i częstości (Łupikasa 2008; 2009). Wzrost opadów widoczny jest również w innych częściach Svalbardu (Førland, Hanssen-Bauer 2003).



Ryc. 4. Zmiany temperatury powietrza na Svalbardzie i pobliskich wyspach (Jan Mayen, Hopen) w ciągu XX wieku (Førland, Hanssen-Bauer 2003).



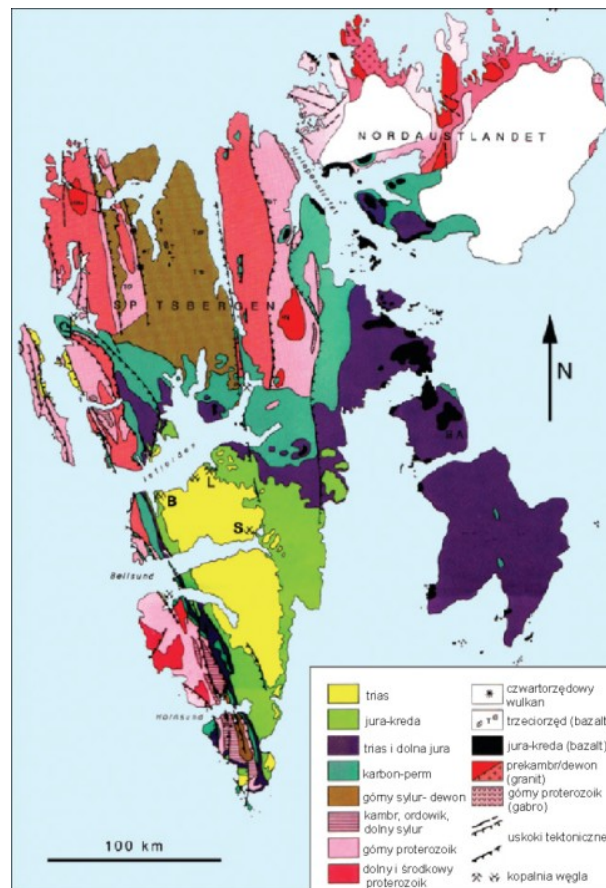
Ryc. 5. Anomalie temperatury powierzchni Arktyki w stosunku do średniej z lat 1951-1990 (Przybylak 2007a). NH – półkula północna.



Ryc. 6. Anomalie temperatury powierzchni Ziemi w stosunku do średniej z lat 1961-1990 (dane z National Climatic Data Centre, <http://www.ncdc.noaa.gov>).

2.1.3. Podłoże geologiczne i gleby

Złożona budowa geologiczna Svalbardu odzwierciedla skomplikowaną historię tego obszaru na przestrzeni epok (Ryc.7). Podłoże geologiczne stanowią magmowe i metamorficzne utwory prekambryjskie, widoczne na powierzchni w północnej części oraz wzdłuż zachodnich wybrzeży Spitsbergenu (Fookes 2008). Wypiętrzone podczas orogenezy kaledońskiej około 470-400 mln lat temu najwyższe łańcuchy górskie zbudowane są z granitów. Większość Spitsbergenu, zwłaszcza jego północną i środkową część oraz zachodnie wybrzeże, pokrywają osadowe skały paleozoiczne (głównie piaskowce, również łupki ilaste i wapień), w tym dewońskie osady kryjące złoża węgla. Rozległe tereny mezozoicznych osadów morskich świadczą o kilkakrotnym zalewaniu obszaru Svalbardu przez morze; duży obszar w środkowej części Spitsbergenu zajmują również osady trzeciorzędowe (Fookes 2008).



Ryc. 7. Ogólna mapa geologiczna Svalbardu (za: Fookes, 2008, zmienione). B – Barentsburg, L – Longyearbyen, S – Sveagruba.

W tych najmłodszych skałach zawarte są pokłady węgla eksploatowane obecnie w Longyearbyen, Barentsburgu i Sveagruva. Na przelomie kredy i trzeciorzędu miała również miejsce druga główna orogeneza, zwana zachodniospitsbergeńską (Fookes 2008), w trakcie której wypiętrzyły się szczyty zachodniego wybrzeża Spitsbergenu. Gorące źródła, zlokalizowane głównie na północy Spitsbergenu, są pozostałością dawnej aktywności wulkanicznej.

Rozwój gleb Svalbardu uwarunkowany jest zimnym klimatem. Wieloletnia zmarzlina, obecna pod całą powierzchnią archipelagu (Fookes 2008), oraz powolne tempo rozkładu materii organicznej sprawiają, że gleby na tym terenie najczęściej mają charakter inicjalny i słabo wykształcony profil. Proces wietrzenia fizycznego przeważa nad chemicznym: powszechnie zachodzi sortowanie mrozowe, prowadzące do formowania się gleb kriogenicznych z charakterystycznymi poligonami, częste jest również zjawisko soliflukcji. Na obszarach nizinnych dominują histosole, w wilgotniejszych miejscach tworzą się gleby glejowe. W pobliżu cieków wodnych wykształcają się gleby aluwialne. W górach natomiast powszechne są regosole i leptosole. W pobliżu kolonii ptaków morskich wykształcają się specyficzne, bogate w pierwiastki biogenne gleby ornitogeniczne.

2.1.4. Wody

Sieć wodna Svalbardu, związana w dużej mierze z lodowcami, jest bardzo dynamiczna. Rzeki proglacjalne, biorące początek z lodowców, stanowią dominujący składnik tej sieci. Dynamika przepływu wody w rzekach proglacjalnych zależy głównie od intensywności topnienia lodowca (ablacji), uwarunkowanej temperaturą i usłonecznieniem (Bartoszewski i in. 2009). Poza ablacją na ilość wody niesionej przez takie rzeki mają wpływ wiosenne roztopy, intensywne opady atmosferyczne oraz, lokalnie, ciepłe wiatry typu fenowego (Rachlewicz 2009). Przepływ wody jest bardzo zmienny zarówno w dużej skali (tygodnie, miesiące), jak i w skali dni i godzin. W bezpośredniej bliskości lodowców formują się rzeki warkoczowe, często zmieniające łożyska w wyniku gwałtownych wezbrań. Na obszarach zlewni zlodowaconych bardzo mocno zaznaczają się procesy denudacji mechanicznej, które mają ogromne znaczenie w przemianach rzeźby terenu dolin polodowcowych (Kostrzewski i in. 2007). Oprócz rzek proglacjalnych istnieją rzeki proniwalne - zasilane z topniejącego śniegu. Maksimum objętości rzeki te osiągają po wiosennych roztopach, natomiast pod koniec lata i jesienią mogą zanikać. Spływ wód

gruntowych ma stosunkowo niski, w porównaniu z rzekami, udział w odwadnianiu zlewni na Svalbardzie. Spowodowane jest to obecnością wieloletniej zmarzliny i niewielką głębokością aktywnej (rozmarzającej latem) warstwy gleby.

Istnienie dużej części jezior na Spitsbergenie uwarunkowane jest działalnością lodowców. W obrębie stref marginalnych tworzą się jeziora proglacjalne, zasilane wodami roztopowymi, oraz jeziora wytopiskowe (Ziaja 2002). Zbiorniki wodne występują również na powierzchni lodowców (jeziora supraglacjalne) lub wewnątrz nich (jeziora subglacjalne) (Kostrzewski i in. 2007). W miejscach, gdzie jezior lodowca odcina część doliny, tworzą się z kolei jeziora zaporowe, które mogą spływać gwałtownie, przerywając lodową tamę. Na równinach nadmorskich występują jeziora tundrowe, zasilane wodami z topniejącego śniegu i wieloletniej zmarzliny. Ich poziom wody waha się znacznie w ciągu cieplej pory roku, będąc najwyższym na początku lata. Pod koniec lata niewielkie jeziora mogą wyschnąć niemal całkowicie.

W związku ze zmianami klimatu ulegają przemianie stosunki wodne na Svalbardzie. Wzrasta ilość wód płynących wskutek topnienia lodowców i głębszego odmarzania aktywnej warstwy wieloletniej zmarzliny, a tym samym zwiększa się oddziaływanie sieci wodnej na pozostałe elementy środowiska (Ziaja 2002). W ostatnich latach obserwuje się, iż roczny bilans wodny najczęściej jest ujemny, w wyniku odprowadzania wody z topniejących lodowców (Bartoszewski i in. 2009). Ocieplenie powoduje również wydłużenie okresu, w którym zbiorniki wodne są rozmarznięte (Kostrzewski i in. 2007).

2.1.5. Świat roślinny

Zdecydowanie najlepiej poznanym elementem tundry Svalbardu są rośliny, zwłaszcza rośliny naczyniowe. Polscy badacze mieli znaczący udział w badaniach botanicznych, zwłaszcza na południu Spitsbergenu (Dubiel 1990; Dubiel 1991; Kuc, Dubiel 1995). Ostatnie kompleksowe opracowanie powstało w latach 90-tych XX wieku (Rønning 1996), natomiast najnowsze uaktualnienia dostępne są w serwisie internetowym „The Flora of Svalbard” (<http://www.svalbardflora.net>), utworzonym dzięki współpracy norweskich uczelni. Mimo wieloletnich prac nad innymi grupami roślin oraz grzybami, które zaowocowały całościowymi zestawieniami (Elvebakk, Prestrud 1996), wydaje się, iż nadal wiedza na ten temat jest niekompletna.

Badania fitosocjologiczne Svalbardu mają długą tradycję. W związku z tym obecnie dostępne są zarówno szczegółowe prace charakteryzujące konkretne obszary, np. polskie opracowania Sørkapp Landu (Dubiel, Olech 1990), jak i opracowania zbiorcze zawierające informacje o całym archipelagu (Elvebakk 1994; 1997; Rønning 1996). Podstawowe informacje na temat typów tundry na Svalbardzie można uzyskać z mapy roślinności Arktyki (Walker i in. 2005), została również opracowana mapa roślinności Svalbardu (Elvebakk 2005). Szczegółowe dane fitosocjologiczne dostępne są tylko dla wybranych obszarów archipelagów, a największy projekt mapowania roślinności zrealizowany został na Sørkapp Landzie (Dubiel, Olech 1991).

Flora roślin naczyniowych Svalbardu, składająca się według najnowszych danych z 165 gatunków rodzimych i 12 introdukowanych ("The Flora of Svalbard"), znacznie ustępuje bogactwem gatunkowym innym grupom organizmów tworzących tundrę. W chwili obecnej na Svalbardzie znanych jest około 370 gatunków mszaków (Frisvoll, Elvebakk 1996), 747 gatunków grzybów zlichenizowanych – porostów (Øvstedal i in. 2009), 200 gatunków niezlichenizowanych grzybów podstawkowych i 276 gatunków niezlichenizowanych grzybów workowych, a także około 430 gatunków śluzowców i około 336 lądowych i słodkowodnych gatunków glonów (w tym sinic) (Elvebakk, Prestrud 1996). Wśród roślin naczyniowych można spotkać przedstawicieli 29 rodzin ("The Flora of Svalbard"), należących do *Pteridophyta* oraz *Magnoliophyta*. Najbogatsze w rodzaje rodziny to *Poaceae* (17 rodzajów), *Brassicaceae* (11 rodzajów), *Asteraceae* oraz *Caryophyllaceae* (po 7 rodzajów). Paprotniki reprezentują przedstawiciele rodzin *Ophioglossaceae*, *Polypodiaceae* i *Lycopodiaceae*. Z kolei najbogatszym w gatunki rodzajem jest *Carex* (17 gatunków), a na następnym miejscu znajdują się *Draba* (12 gatunków), *Saxifraga* (9 gatunków; 13 licząc z niedawno wydzielonym rodzajem *Micranthes*) oraz *Ranunculus* (9 gatunków; 12 razem z oddzielnymi obecnie rodzajami *Coptidium* i *Beckwithia*). Około jedna czwarta flory roślin naczyniowych Svalbardu (44 gatunki) znalazła się na czerwonej liście ("The Flora of Svalbard"). Lista ta obejmuje gatunki termofilne, np. *Betula nana* ssp. *tundrarum* i *Campanula rotundifolia* ssp. *gieseckiana*, a także gatunki typowo arktyczne, rzadkie w całym zasięgu geograficznym, np. jedyny endemit Svalbardu *Puccinellia svalbardensis*, i takie, których status jest niepewny z powodu niedostatecznych danych taksonomicznych, jak np. gatunki z rodzaju *Puccinellia*. Do czerwonej listy zaklasyfikowano także gatunki potencjalnie zagrożone obecnymi zmianami klimatycznymi, np. *Draba micropetala*.

Do grupy roślin introdukowanych należą między innymi *Poa annua*, *Deschampsia cespitosa*, *Rumex acetosella* ssp. *acetosella* i *Rumex longifolius*, *Thlaspi arvense* oraz *Trifolium repens*. Rośliny introdukowane spotykane są obecnie jedynie w zaburzonych siedliskach w sąsiedztwie osad ludzkich i nie obserwuje się ich ekspansji na inne tereny.

Mimo, iż w porównaniu z rozległymi obszarami lądowymi Arktyki kanadyjskiej czy Syberii Svalbard zajmuje niewielką powierzchnię i na mapach o małej skali jego szata roślinna sprawia wrażenie jednorodnej (CAVM Team 2003; Walker i in. 2005), bogactwo rzeźby terenu, różnorodność podłoża i strome gradienty warunków klimatycznych przyczyniły się do wykształcenia bogatej mozaiki zbiorowisk roślinnych. W różnych miejscach archipelagu obserwuje się sześciokrotną różnicę wartości średniej temperatury lipca (od ok. 1 do ok. 6°C) oraz trzykrotną różnicę czasu trwania sezonu wegetacyjnego (od 1 do 3 miesięcy) (Jónsdóttir 2005), co znacząco wpływa na różnorodność szaty roślinnej. O ile różnica temperatur determinuje podział roślinności w skali całego Svalbardu, lokalnie zdecydowanie największe znaczenie mają topografia i czynniki edaficzne – wilgotność i pH podłoża (Elvebakk 1997).

Obecnie dzieli się Arktykę na pięć stref bioklimatycznych, z których każda posiada charakterystyczny typ roślinności (Walker i in. 2005). Na stosunkowo niewielkiej powierzchni Svalbardu można wyodrębnić tereny należące do aż trzech z tych pięciu stref (Elvebakk 2005; Jónsdóttir 2005). Najcieplejsza strefa (Middle Arctic Tundra Zone wg klasyfikacji Elvebakka (1997), strefa bioklimatyczna C wg Circumpolar Arctic Vegetation Map (CVAM Team 2003)) obejmuje swym zasięgiem środkową część Spitsbergenu. Jest to najbardziej różnorodny pod względem typów roślinności obszar, z czego najbardziej charakterystyczne są zbiorowiska krzewinkowe z *Cassiope tetragona* i z *Dryas octopetala*, zajmujące siedliska suche, w eksponowanych miejscach. Na terenach podmokłych dominują natomiast zbiorowiska z dużym udziałem turzyc, głównie *Carex saxatilis*. Na zboczach gór w głębi lądu, w miejscach wybitnie suchych z racji cienia opadowego i często zasolonych, rozwija się unikatowa roślinność, którą nazwano „stepem arktycznym” (Elvebakk 1994; 1997), z charakterystycznymi gatunkami *Potentilla pulchella* i *Puccinellia angustata*.

Północno-zachodnie, zachodnie i południowe wybrzeża Spitsbergenu oraz niewielkie fragmenty wybrzeży mniejszych wysp charakteryzują się ostrzejszymi warunkami, niż wewnątrz Spitsbergenu (Northern Arctic Tundra Zone, strefa bioklimatyczna B). Roślinność odznacza się tu większym udziałem porostów oraz mszaków, w porównaniu z najcieplejszą strefą. W typowych zbiorowiskach siedlisk suchych dominują *Salix polaris* i *Saxifraga*

oppositifolia, choć ogólnie udział krzewinek nie jest tak duży, jak w najcieplejszej strefie, a towarzyszą im gatunki z rodzaju *Luzula*. Tundra mszysta wykształca się w miejscach podmokłych, często na brzegach zbiorników wodnych, natomiast szczyty wzniesień i inne miejsca o suchym, gruboziarnistym podłożu pokrywają formacje tundry porostowej, z dominacją wielkoplechowych gatunków naziemnych z rodzaju *Cetraria* s. l. i *Cladonia*.

Najzimniejsze obszary Svalbardu – północna i wschodnia część wybrzeży Spitsbergenu, wysokie zbocza górskie, zdecydowana większość powierzchni wysp Nordaustlandet, Barentsøya i Edgeøya i mniejszych wysp – nazywane są pustynią polarną (Arctic Polar Desert Zone, strefa bioklimatyczna A). Sezon wegetacyjny trwa tu około miesiąca, a średnia temperatura lipca rzadko przekracza 2°C, zbiorowiska roślinne są więc ubogie w gatunki. Najbardziej odpornym roślinom naczyniowym, głównie *Papaver dahlianum* i *Luzula confusa*, towarzyszą mszaki i porosty, które zdecydowanie dominują w krajobrazie.

W porównaniu z innymi rejonami Arktyki, tundra Svalbardu jest mniej bogata w gatunki, czego główną przyczyną jest duża izolacja geograficzna (Elvebakk 1997). Z drugiej strony relatywnie łagodny klimat pozwala na przetrwanie szeregu termofilnych roślin, które zwykle nie rosną już tak daleko na północ.

2.1.6. Świat zwierzęcy

Lądowa i słodkowodna fauna bezkręgowców Svalbardu liczy około 1040 gatunków, przewyższając około pięciokrotnie liczbę gatunków kręgowców (Prestrud i in. 2004). Najbardziej różnorodną grupę bezkręgowców lądowych stanowią owady, których obecnie znanych jest około 230 gatunków (Prestrud i in. 2004). Bezkręgowce Svalbardu są obecnie obiektem szeroko zakrojonych projektów badawczych, zarówno taksonomicznych, jak i ekologicznych czy związanych z przystosowaniami do życia w niskich temperaturach (Svalbard Pictographic Invertebrate Database and Educational Resource, <http://svalbardinsects.net>).

Awifauna składa się z 202 gatunków, z czego 41 gatunków gniazduje na terenie Svalbardu (Strøm, Bangjord 2004). Ważną ekologicznie grupę dla ekosystemu tundrowego stanowią ptaki żerujące w morzu, które na lądzie gromadzą się w sezonie rozrodczym, gdyż nawożąc guanem okolice kolonii lęgowych są łącznikiem w obiegu pierwiastków między ekosystemami morskimi a lądowymi. Należą do nich alki (*Alcidae*), reprezentowane na

Svalbardzie przez: alczyka *Alle alle*, najliczniejszego ptaka tego terenu, oraz nurzyki - białoskrzydłego *Cepphus grylle*, polarnego *Uria lomvia* i, znacznie rzadszego od poprzednich, nurzyka zwyczajnego *Uria aalge*. Alczyki, żywiące się drobnymi morskimi skorupiakami i gniazdujące w ogromnych koloniach na stokach gór, pełnią, z racji wysokiej liczebności populacji, niezwykle istotną rolę w użyźnianiu tundry. Drugą ważną grupą ptaków morskich są mewy (*Laridae*), z których najczęściej spotyka się mewę trójpalczastą *Rissa tridactyla* oraz mewę bladą *Larus hyperboreus*. Pospolitym przedstawicielem rodziny petrelowatych (*Procellariidae*) jest z kolei fulmar *Fulmarus glacialis*, gniazdujący w dużych koloniach na skałach. Na Svalbardzie występuje również duża populacja edredona *Somateria mollissima*, morskiej kaczki, której puch jest niezwykle ceniony jako materiał izolujący.

Istotnym elementem ekosystemu tundrowego są gęsi, bernikla białolica *Branta leucopsis*, bernikla obroźna *Branta bernicla* i gęś krótkodzioba *Anser brachyrhynchus*, będące jednymi z bardziej znaczących roślinożerców na Svalbardzie. Do lądowych ptaków roślinożernych należy również pardwa *Lagopus mutus hyperboreus*, jedyny na tym terenie ptak, który nie odlatuje na zimę.

Ptaki drapieżne żerujące na łądzie stanowią niewielką część awifauny Svalbardu. Jest to spowodowane mniejszą, niż w innych rejonach Arktyki, bazą pokarmową – brak tu rodzimych gatunków gryzoni. Regularnie notowana sowa śnieżna *Bubo scandiacus* nie gniazduje na terenie Svalbardu, a jej populacja jest niewielka.

Na Svalbardzie występują zaledwie dwa rodzime gatunki ssaków lądowych, renifer spitsbergeński *Rangifer tarandus platyrhynchus* oraz lis polarny *Vulpes lagopus*. Renifer spitsbergeński, endemiczny dla Svalbardu podgatunek renifera, jest jedynym, który nie migruje na duże odległości. Jest tu największym lądowym zwierzęciem i głównym roślinożercą i, poprzez żerowanie oraz zadeptywanie, znacząco wpływa na skład gatunkowy i fizjonomię zbiorowisk roślinnych tundry (m. in. van der Wal i in. 2001).

Wpływ morskich ssaków Svalbardu na ekosystem lądowy jest bez porównania mniejszy, niż w przypadku ptaków. Na plażach można spotkać fokę pospolitą *Phoca vitulina* i stada morsów *Odobenus rosmarus*, inne gatunki swalbardzkich fok sporadycznie wychodzą na ląd. Niedźwiedź polarny *Ursus maritimus*, symbol Arktyki, mimo że latem przebywa na łądzie i okazjonalnie żywi się jajami lub padliną, większość życia spędza na lodzie morskim, a podstawą jego diety są foki.

Kilkakrotnie introdukowano na terenie Svalbardu obce gatunki zwierząt. Były to zwierzęta zamieszkujące naturalnie inne obszary arktyczne i subarktyczne: wół piźmowy

Ovibos moschatus, szwedzki podgatunek renifera *Rangifer tarandus tarandus*, zając bielak *Lepus timidus*, zając polarny *Lepus arcticus*. Miała również miejsce mimowolna introdukcja norki amerykańskiej *Mustela vison*, myszy domowej *Mus musculus*, szczura wędrownego *Rattus norvegicus* oraz nornika *Microtus rossiaemeridionalis*. Obecnie tylko populacja nornika w pobliżu opuszczonej osady górniczej w okolicach Longyearbyen jest stabilna. Populacje pozostałych zwierząt nie utrzymały się.

2.1.7. Ochrona przyrody

Norweskie władze Svalbardu, doceniając unikatowość oraz niewielki stopień antropogenicznego przekształcenia środowiska naturalnego tego obszaru, prowadzą od kilku dziesięcioleci aktywną działalność w zakresie ochrony przyrody. Na terenie archipelagu utworzono dotychczas 7 parków narodowych, 6 dużych rezerwatów przyrody, 15 ostoi ptaków i jeden rezerwat geologiczny. W sumie ochronie prawnej podlega około 65% powierzchni Svalbardu. Przebywanie w obszarach chronionych możliwe jest wyłącznie po uzyskaniu zgody gubernatora. W przypadku miejsc uważanych za najcenniejsze, np. wysepki Moffen, gdzie znajduje się ogromna kolonia morsów, czy wyspy Kvitøya, na której wiele niedźwiedzi polarnych rodzi młode, uzyskanie zezwolenia jest prawie niemożliwe. W ostojach ptaków zakaz wstępu ustanowiony został w porze lęgowej. Objęcie ochroną znacznych fragmentów Svalbardu i zakazy polowań umożliwiły odrodzenie się populacji wielu zwierząt, w tym morsów, reniferów i niedźwiedzi polarnych, mocno przetrzebionych do połowy XX wieku. Ochrona obszarowa pozwala również na zachowanie rozległych obszarów tundry wolnymi od ruchu skuterów śnieżnych, których ślady są widoczne w krajobrazie przez dziesięciolecia.

2.2. Charakterystyka badanych lodowców



Ryc. 8. Rozmieszczenie badanych przedpól lodowców. Zasięg lodowców z lat 80-tych XX wieku. Podkład mapy: Norsk Polarinstitutt, TopoSvalbard, <http://toposvalbard.npolar.no>

2.2.1. Gåsbreen

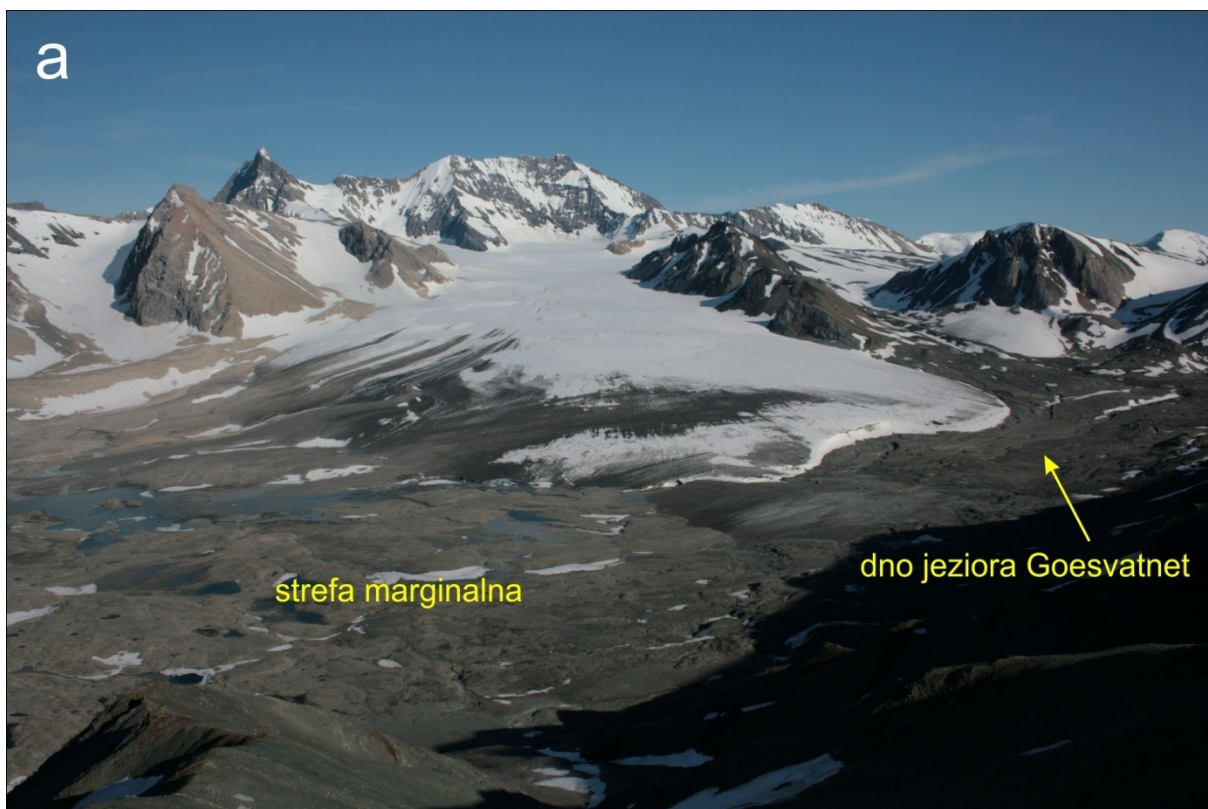
Gåsbreen zlokalizowany jest na południu Spitsbergenu, w północno-zachodniej części półwyspu Sørkapp Land, na południowym brzegu fiordu Hornsund ($76^{\circ}54'3''$ N, $15^{\circ}59'0''$ E) (Ryc.8). Jak na warunki Svalbardu jest on średniej wielkości lodowcem dolinnym (ok. 7,3 km długości, $14,3 \text{ km}^2$ powierzchni i $1,6 \text{ km}^3$ objętości w latach 90-tych XX wieku), spływającym z pól firnowych położonych na wysokości ok. 1100 m n. p. m. w kierunku zachodnim i kończącym się na wysokości ok. 110 m n. p. m. (Hagen i in. 1993). Teren ten znajduje się w obrębie parku narodowego Sør-Spitsbergen nasjonalpark. Od przełomu XIX i

XX wieku Gåsbeen był dość systematycznie badany. Najstarsze informacje o zasięgu Gåsbeen pochodzą z mapy wykonanej w 1899 roku przez De Geera (1923, za: Ziaja, Ostafin 2007). Lodowiec był następnie kartowany w latach: 1938, 1983/84 oraz 1990 (Ziaja, Ostafin 2007), a dane z ostatnich lat uzyskiwano na podstawie zdjęć satelitarnych wykonywanych przez satelitę Terra ASTER (NASA).

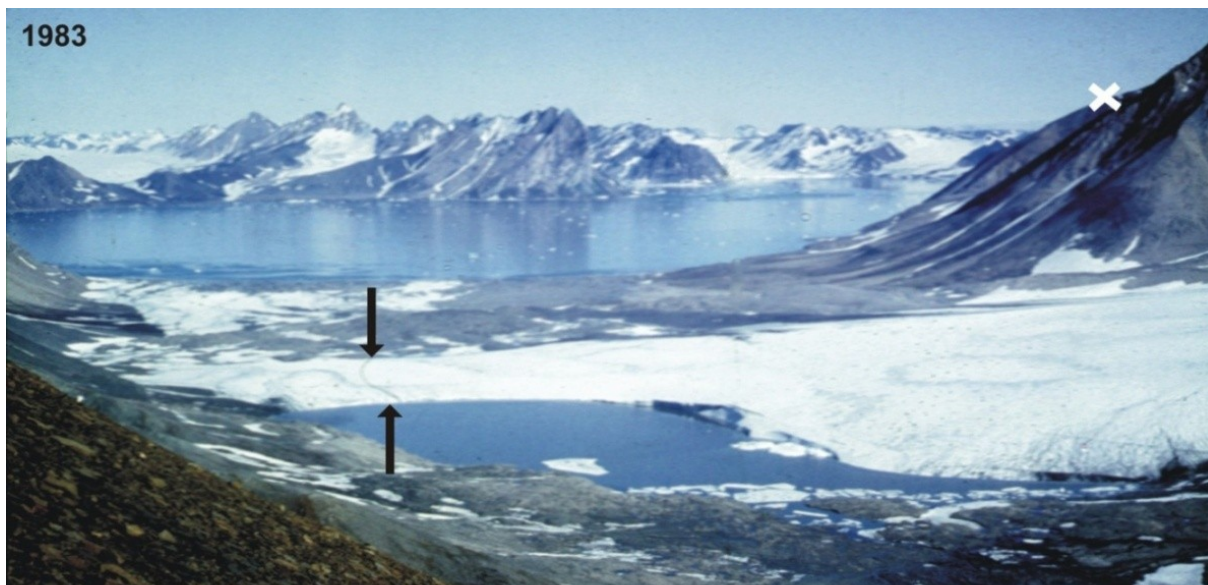
W 1899 roku czoło Gåsbeen opierało się o stok grzbietu Wurmbrandegga, a boczna jego część rozlewała się szeroką doliną w kierunku północnym (Ryc. 18). Od tego czasu obserwuje się stałe zmniejszanie się zasięgu lodowca oraz jego miąższości. Największy dokumentowany spadek miąższości lodowca (120 m od 1899 do 2000 roku) miał miejsce w najniższej położonej jego części (Ziaja, Ostafin 2007). Najgwałtowniejszą recesję Gåsbeen obserwuje się od lat 80-tych XX wieku. Od tego czasu grubość lodowca zmniejszyła się znacznie, a jego czoło cofnęło się o 750 m (Ziaja i in. 2011, in press). W chwili obecnej marginalna część jezora lodowca pokryta jest częściowo materiałem żwirowym, który tworzy morenę powierzchniową.

Strefę marginalną Gåsbeen można podzielić na dwie części, oddzielone jeziorem lodowca i płatem lodu, który jest pozostałością po wytopionej części lodowca (martwego lodu) (Ryc. 9). Najstarsza i najrozleglejsza część rozciąga się na północ od lodowca. Ponieważ recesja lodowca z tej strony ma charakter arealny – zwężający się jezior lodowcowy przykrywany jest materiałem morenowym lub glaci-fluwialnym – ta część moreny uformowana jest na martwym lodzie. Składa się ona ze stromych wałów morenowych oraz rozległych równin płaskiej moreny dennej (Karczewski 1984). Obserwowano na tym obszarze znaczne przekształcenia wałów morenowych, wynikające z wytapiania się martwego lodu z ich wnętrza (Ziaja, Ostafin 2007). Teren pocięty jest korytami rzek warkoczowych, które często zmieniają bieg, wzbierając w wyniku przyspieszonego topnienia lodowca lub roztopów śniegu. Występują tu także rozległe jeziora proglacjalne (Ryc.9). Ciągłe zmieniająca się sieć wodna przyczynia się do przebudowywania rzeźby terenu; wpływa też na proces sukcesji, niszcząc fragmenty już skolonizowane przez roślinność.

Druga część strefy marginalnej, o mniejszej powierzchni, powstała między rokiem 2000 a 2005, po zaniku jeziora zaporowego Goesvatnet (Ryc. 9a i 10). Do roku 2008 w miejscu byłego jeziora uformowało się sterasowane dno doliny rzecznej zbudowane z aluwiów (Ryc. 11), z niewielkimi wodospadami na wychodniach skalnych (Ziaja i in. 2011, in press). Poza kilkupoziomym dnem jeziora, ta część strefy marginalnej składa się z wałów morenowych, podlegających szybkiej erozji (Ziaja, Ostafin 2007).



Ryc. 9. Gåsbreen: (a) widok od strony zachodniej; (b) strefa marginalna widziana od północy.



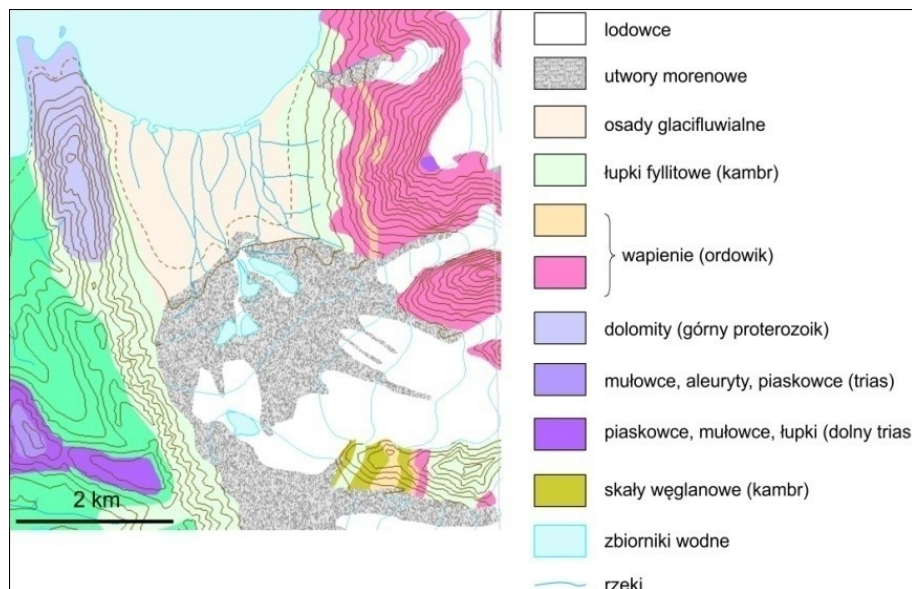
Ryc. 10. Jezioro zaporowe Goesvatnet w roku 1983 oraz wygląd strefy marginalnej Gåsbeen po spłynięciu jeziora, w roku 2005. Strzałki wskazują barierę lodową, znaki X - miejsca wykonania fotografii. Foto: Wiesław Ziaja

Podłoże strefy marginalnej Gåsbeen stanowią głównie grubookruchowe utwory węglanowe, utworzone z osadów górno-proterozoicznej grupy Sofiebogen oraz kambryjskiej grupy Sofiekammen (Birkenmajer 1990; Winsnes et al. 1993) (Ryc. 12). Gleby na tym terenie mają charakter inicjalny. W obrębie wałów morenowych dominują regosole grubookruchowe (*Gelic Hyperskeletal Regosols*). Przestrzenie między blokami skalnymi moren (nierzadko przekraczającymi 1 m średnicy) nie zawsze wypełnione były częściami ziemistymi. Pomiędzy

morenami, zwłaszcza w młodszej części strefy marginalnej zdominowanej przez cieki wodne, tworzą się inicjalne mady kamieniste (*Gelic Skeletic Fluvisols*) (Skiba i in. 2002).



Ryc. 11. Dno jeziora zaporowego Goesvatnet, które przestało istnieć w okresie między rokiem 2000 a 2005. Foto: Justyna Dudek



Ryc. 12. Mapa geologiczna okolic Gåsbeen. Na podstawie: Norsk Polarinstittutt, Geological Database for Svalbard and Jan Mayen, <http://kart.npolar.no/website/barentsgeo>

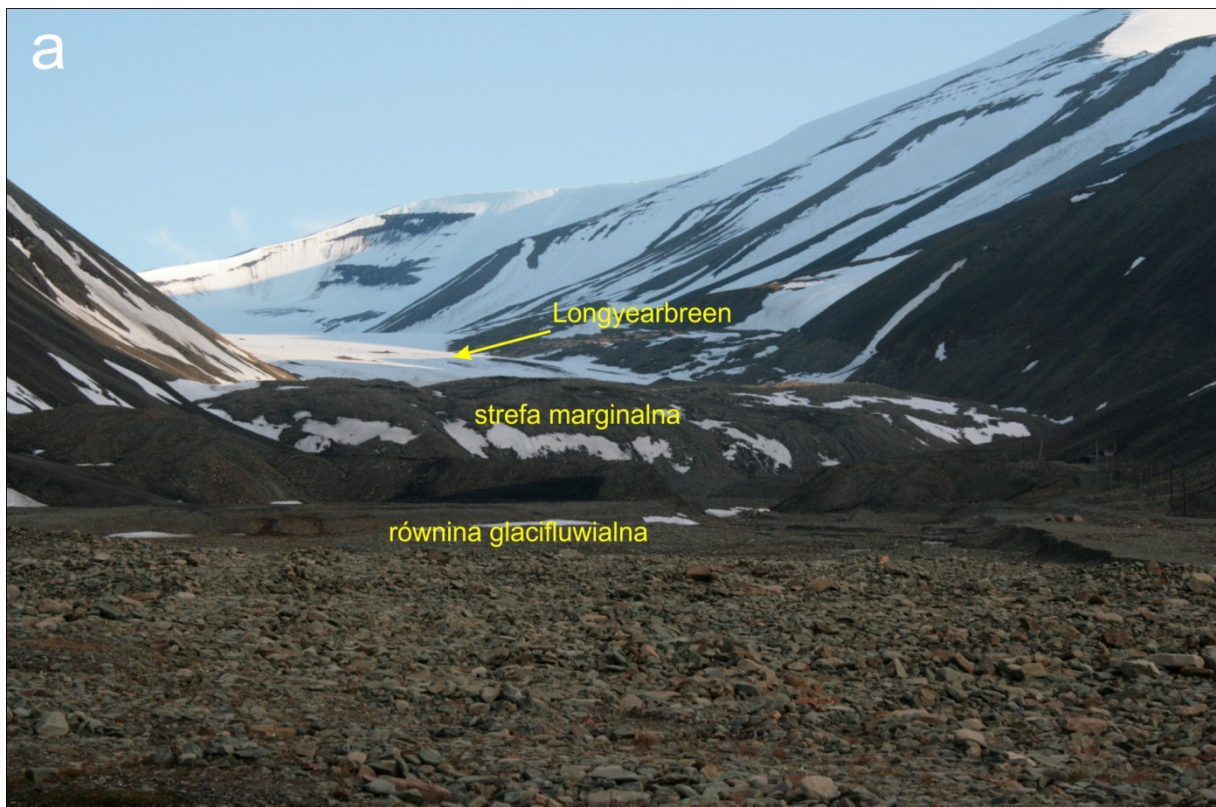
2.2.2. Longyearbreen

Lodowiec Longyearbreen zlokalizowany jest w środkowej części Spitsbergenu, na Ziemi Nordenskiöld, w bezpośrednim sąsiedztwie Longyearbyen ($78^{\circ}10'5''$ N, $15^{\circ}30'0''$ E) (Ryc.8). Ten niewielki lodowiec dolinny spływa z pola firnowego położonego na wysokości ok. 1000 m n. p. m. w kierunku północno-wschodnim, kończąc się na wysokości ok. 250 m n. p. m. (Hagen i in. 1993). Na stromych zboczach jego doliny znajdują się niewielkie kolonie lęgowe alczyka *Alle alle*.

Podobnie, jak inne lodowce na Svalbardzie, Longyearbreen kurczy się od zakończenia Małej Epoki Lodowej. Recesja jest wyraźna zwłaszcza w ostatnich dziesięcioleciach. Według danych z atlasu lodowców Svalbardu (Hagen i in. 1993) miał on ok. 4,8 km długości, 4 km^2 powierzchni i objętość $0,3 \text{ km}^3$, natomiast Etzelmüller i in. (2000) podają długość lodowca 3,6 km, powierzchnię $2,52 \text{ km}^2$ i $0,13 \text{ km}^3$ objętości.

Strefa marginalna Longyearbreen, w całości wykształcona na martwym lodzie, ma postać szerokiej moreny czołowej o dużej miąższości (Ryc.13) i mniejszych moren bocznych (Etzelmüller i in. 2000). Dwie duże rzeki lodowcowe odprowadzają wodę z kanałów subglacjalnych i jądra lodowego moreny; wypływają one z bocznych części strefy marginalnej, okalając morenę od zewnątrz (Ryc. 14). Poniżej strefy marginalnej łączą się one w jedno koryto, tworząc rzekę Longyearelva, która przepływa następnie przez Longyearbyen. Podłoże strefy marginalnej Longyearbreen składa się z grubookruchowych utworów czwartorzędowych (Etzelmüller i in. 2000; Fookes 2008) (Ryc. 15), utworzonych ze skał osadowych, miejscami o dużej zawartości żelaza. Woda spływająca od jezora lodowca po powierzchni moreny sprawia, że dość rozległe fragmenty podłoża są stale wilgotne; tworzą się też niewielkie oczka wodne (Ryc. 13b).

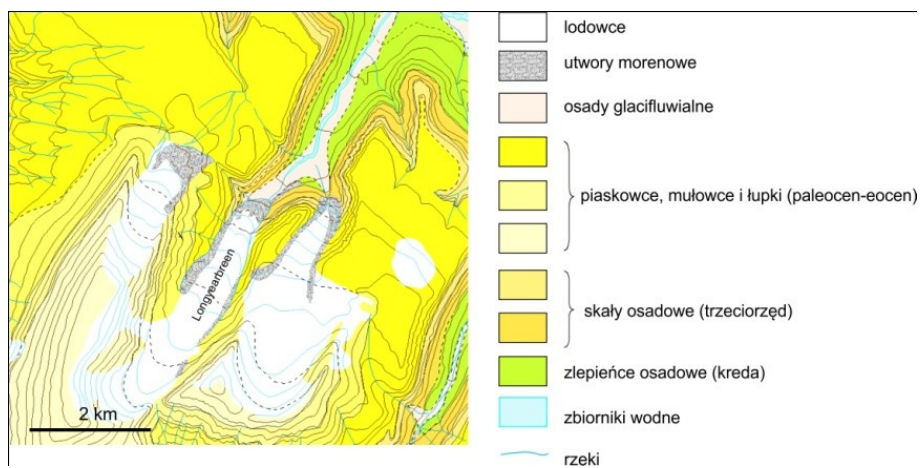
Z racji położenia niedaleko Longyearbyen, lodowiec i jego strefa marginalna są terenem uczęszczanym przez ludzi. W ubiegłych dekadach we wschodnim zboczu doliny lodowca działała kopalnia węgla. W tym czasie w strefie marginalnej panowało duże natężenie ruchu ludzi oraz pojazdów. Obecnie po lodowcu wiedzie popularna trasa na pobliskie górskie grzbiety, z której korzystają turyści. Bloki osadowych skał na morenie kryją skamieniałości roślinne, eksploatowane przez kolekcjonerów. Nie bez znaczenia jest również stała obecność glaciologów monitorujących ruch lodowca i inne procesy związane z lodem.



Ryc. 13. Longyearbreen : (a) widok od północnego wschodu, (b) fragment strefy marginalnej, widok od strony czoła lodowca.



Ryc. 14. Rzeka lodowcowa płynąca wzdłuż moreny czołowej (lewa strona kadru) lodowca Longyearbreen.



Ryc. 15. Mapa geologiczna okolic Longyearbreen. Na podstawie: Norsk Polarinstitut, Geological Database for Svalbard and Jan Mayen, <http://kart.npolar.no/website/barentsgeo/>

3. Materiały i Metody

3.1. Badania terenowe

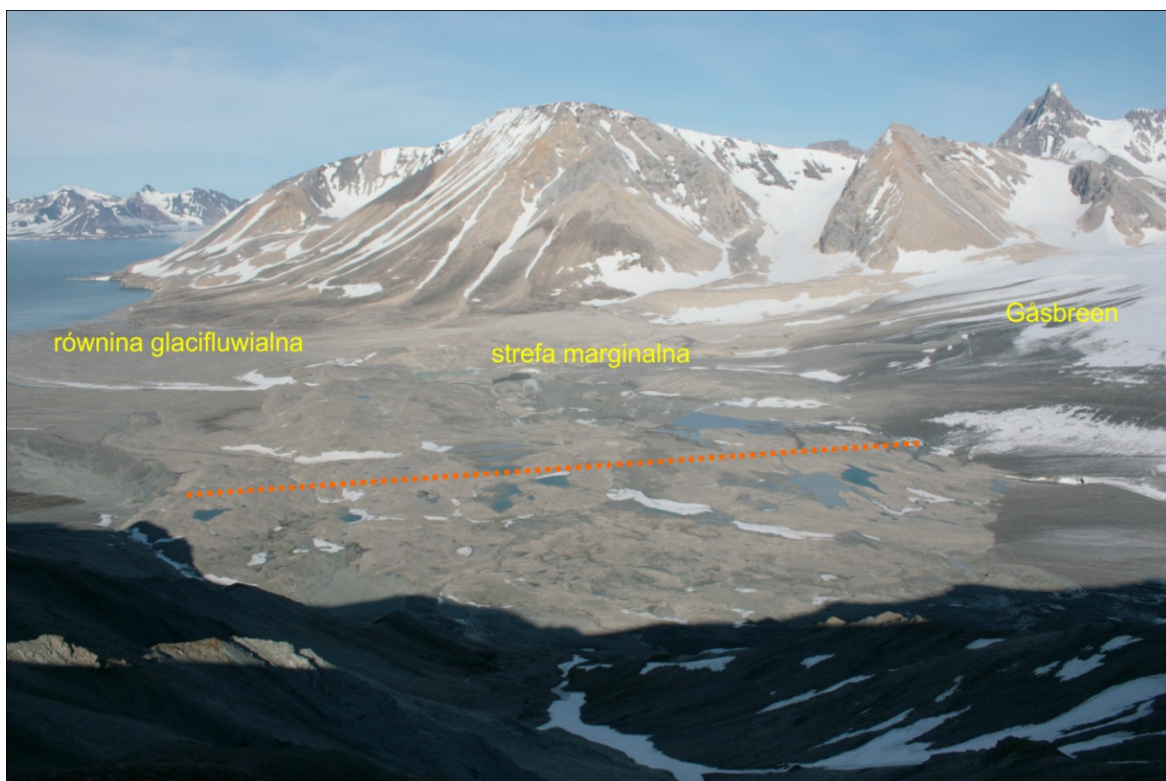
Badania terenowe prowadzono w trakcie dwóch sezonów letnich, w latach 2008 (przedpole Gåsbreen) i 2009 (przedpole Longyearbreen). Wybrano przedpola lodowców, na których badania nad sukcesją roślinności nie były dotychczas prowadzone. Na wybór terenu badań wpływ miała również dostępność danych na temat samych lodowców, a także techniczna możliwość dotarcia do wybranego terenu. Badania na przedpolu Gåsbreen wykonano podczas wyprawy Uniwersytetu Jagiellońskiego w ramach projektu „Zmiany środowiska przyrodniczego Sørkappland (Spitsbergen) pod wpływem globalnego ocieplenia i działalności człowieka w ostatnim 25-leciu”, pod kierownictwem prof. Wiesława Zia i z Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ (grant MNiSW nr N N305 035634). Praca terenowa na przedpolu Longyearbreen połączona była z udziałem w kursie „Arctic Plant Ecology” w University Centre in Svalbard; wyjazd ten dofinansowany został ze środków Zakładu Badań i Dokumentacji Polarnej Instytutu Botaniki UJ oraz Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi UJ.

W trakcie badań zastosowano metodę chronosekwencji. Na przedpolu każdego z lodowców poprowadzono od czoła lodowca do najstarszej części strefy marginalnej ciągły transekt złożony ze zdjęć fitosocjologicznych 1x1 m (Ryc.16-19). Zdjęcia wykonano metodą Braun-Blanqueta. Ilościowość gatunków określano według skali: r – pojedyncze okazy o minimalnym pokryciu, + - do 1%, 1 – 1-5%, 2 - >5%. Maksymalną zanotowaną wartością pokrycia pojedynczego gatunku było 10%. Dla każdego zdjęcia określano procentowe pokrycie roślin naczyniowych, mszaków i porostów, nachylenie terenu w stopniach i ekspozycję oraz procentowy udział (z dokładnością 10%) drobnoziarnistego materiału (poniżej 2 cm średnicy) w podłożu. W trakcie pracy na transekcji posługiwano się pomocniczo miarką. Oba transekty wyznaczono tak, aby obejmowały jak najdłuższą część strefy marginalnej, prostopadle do linii recesji czoła lodowca.

Długość transektu na przedpolu Gåsbreen wynosiła 1237 m. Ukształtowanie terenu wzdłuż transektu było zróżnicowane, w zależności od wieku podłoża. Na odcinku transektu biegnącym przez teren odsłonięty spod lodu po 1936 roku większość powierzchni była płaska, a wzniesienia niewielkie. Wyższe wały morenowe występowały pod koniec tego odcinka.

Starsza część, odsłonięta spod lodu wcześniej, niż w 1936 roku, była równocześnie znacznie bardziej pofałdowana, przebiegając przez wysokie na ponad 30 m i strome wały morenowe.

Transekt na przedpolu Longyearbreen mierzył 289 m. Teren, po którym przebiegał, był znacznie mniej zróżnicowany pod względem ukształtowania, niż transekt na przedpolu Gåsbreen. Z powodu osuwisk i obecności dużych rzek lodowcowych prowadzenie ciągłego transektu do samego końca strefy marginalnej Longyearbreen było zbyt niebezpieczne, nie objął on więc najstarszej, stromej części moreny. Wyznaczono w tej części pojedyncze stanowiska w pobliżu transektu tam, gdzie było to możliwe, oraz stanowisko w dolnej części zbocza moreny.



Ryc. 16. Przebieg transektu na przedpolu Gåsbreen, zaznaczonego kolorem pomarańczowym (widok od strony zachodniej).

W celu uzyskania pełniejszych danych na temat roślinności stref marginalnych Gåsbreen i Longyearbreen, wyznaczono stanowiska poza transektami. W strefie marginalnej Gåsbreen zwrócono szczególną uwagę na dno istniejącego do ok. 2005 roku jeziora zaporowego. Ponadto, wyznaczono również dodatkowe stanowiska w bezpośrednim

sąsiedztwie stref marginalnych w celu uzupełnienia informacji na temat gatunków, które potencjalnie mogą kolonizować strefy marginalne lodowców. Wszystkie stanowiska pozycjonowane były przy użyciu GPS (Tab. 1).

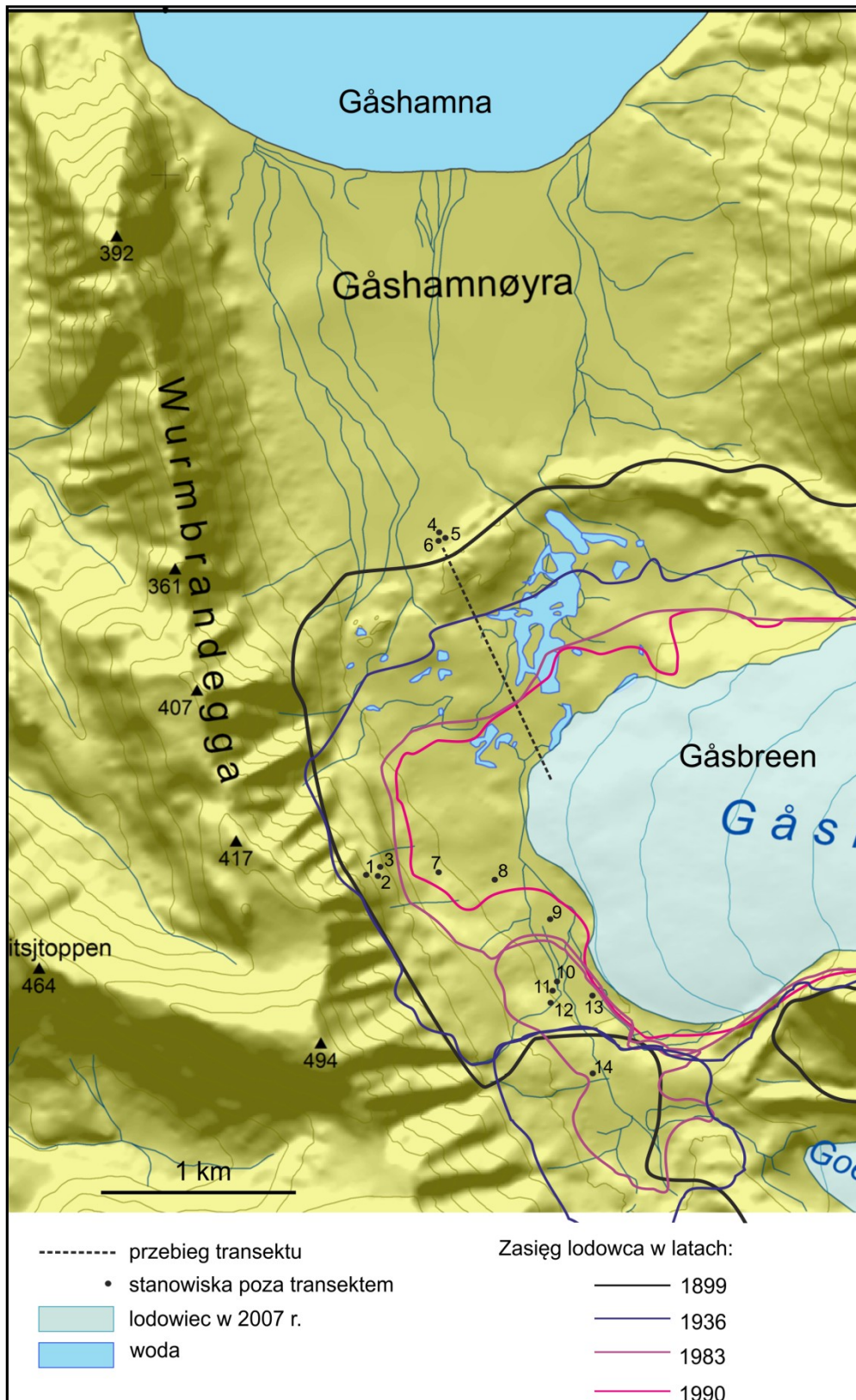
Gatunki, jeśli było to możliwe, identyfikowano w terenie. Zebrano także okazy, głównie mszaków i porostów, do identyfikacji laboratoryjnej. Młode okazy, dla których niemożliwe było określenie przynależności gatunkowej, identyfikowano do rodzaju.

Z wybranych miejsc na badanych przedpolach pobrano próby warstwy powierzchniowej gleby w celu przeprowadzenia analiz chemicznych.

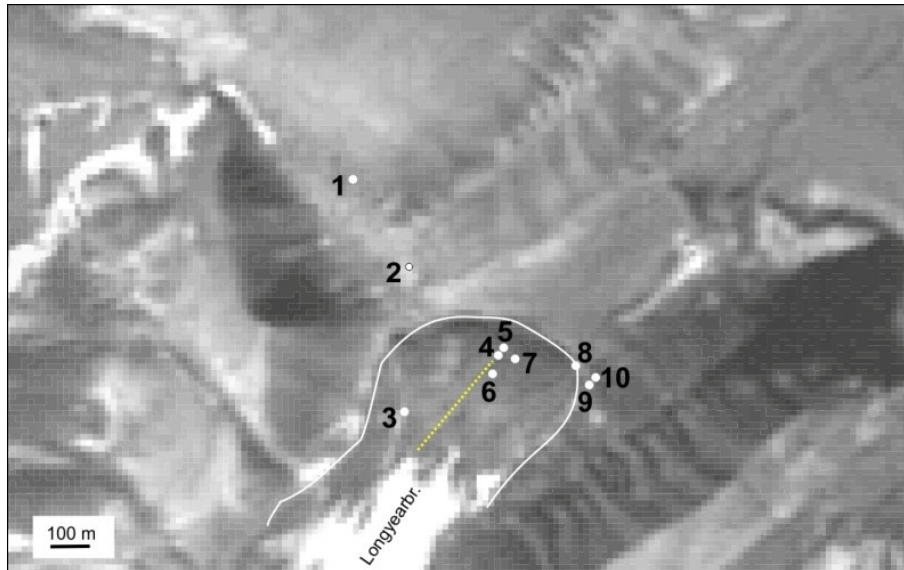
Określenie „stanowisko” używane w dalszej części tekstu podczas opisów analiz roślinności *na transektach* odnosi się do pojedynczego metru transektu - płatu 1x1m, na którym wykonano zdjęcie fitosocjologiczne. Określenie „strefa marginalna” i „przedpole” używano zamiennie. Określają one obszar maksymalnego zasięgu lodowców podczas Małej Epoki Lodowej.



Ryc.17. Przebieg transektu w strefie marginalnej Longyearbreen, zaznaczonego kolorem pomarańczowym (widok od strony północno-zachodniej).



Ryc. 18. Rozmieszczenie stanowisk badawczych na przedpolu Gåsbreen na tle zmian zasięgu lodowca. Podkład mapy: Justyna Dudek.



Ryc. 19. Rozmieszczenie stanowisk badawczych na przedpolu Longyearbreen. Granica strefy marginalnej została zaznaczona kolorem białym, przebieg transektu zaznaczono żółtą przerywaną linią.

Tabela 1. Współrzędne geograficzne (WGS 84) stanowisk na przedpolach Gåsbreen i Longyearbreen.

Gåsbreen		Longyearbreen	
stanowisko	współrzędne	stanowisko	współrzędne
początek transektu (czoło lodowca)	N76 54.670 E15 52.050	początek transektu (czoło lodowca)	N78 11.404 E15 31.753
koniec transektu	N76 55.276 E15 50.883	koniec transektu	N78 11.524 E15 32.266
1	N76 54.407 E15 49.876	3	N78 11.454 E15 31.660
2	N76 54.407 E15 50.065	4	N78 11.516 E15 32.208
3	N76 54.421 E15 50.098	5	N78 11.536 E15 32.306
4-6	N76 55.323 E15 50.853	6	N78 11.509 E15 32.225
7	N76 54.411 E15 50.753	7	N78 11.523 E15 32.395
8	N76 54.393 E15 51.410	8	N78 11.514 E15 32.816
9	N76 54.280 E15 52.065		
10	N76 54.092 E15 52.080		
10	N76 54.060 E15 52.059		
11	N76 54.060 E15 52.060		
13	N76 54.076 E15 52.556		
14	N76 53.864 E15 52.536		

3.2. Analiza danych

W celu określenia wieku poszczególnych części strefy marginalnej Gåsbreen i sporządzenia mapy posłużono się mapą autorstwa Dudek (Ziaja, Dudek 2011, in press), zawierającą dane na temat zmian zasięgu lodowca od roku 1983, oraz mapami z zasięgami lodowców z lat: 1899 (de Geer 1923 za: Ziaja, Ostafin 2007), 1936 (Norsk Polarinstitut 1947) i 1983 (Norsk Polarinstitut 1986). Podkład mapy stanowi model rzeźby terenu (DEM, digital elevation model) autorstwa Dudek. Jako podkład mapy strefy marginalnej Longyearbreen wykorzystano zdjęcie satelitarne wykonane przez satelitę Terra ASTER (NASA). W przypadku Longyearbreen dokładne wydatowanie strefy marginalnej nie było możliwe z powodu braku dokumentacji kartograficznej. Współrzędne geograficzne stanowisk naniesiono na mapy przy pomocy programu ArcGIS v. 10.

Pomiary odczynu pH gleby wykonano w roztworze wodnym oraz w 1M KCl (w obu przypadkach w proporcji obj. gleba:roztwór 1:4) metodą elektrometryczną przy użyciu pH-metru CP315 firmy Elmetron. Zawartość całkowitych form makroelementów Ca, Mg, K, Na i P oraz metali ciężkich Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn oznaczono metodą spektrofotometryczną (Sapek, Sapek 1997) przy zastosowaniu spektrofotometru Beckman DU 640 (P) oraz spektrofotometru absorpcji atomowej PU 910 firmy Philips (pozostałe pierwiastki). Analizy gleb przeprowadzono w Katedrze Gleboznawstwa i Ochrony Gleb Wydziału Rolniczo-Ekonomicznego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.

Sporządzono listy zanotowanych na obu przedpolach gatunków roślin naczyniowych, mszaków i porostów. Następnie przeprowadzono szczegółową analizę danych z transektów. Ustalono pierwsze notowania poszczególnych gatunków. Wykonano wykresy sekwencyjne zmian ogólnego stopnia pokrycia roślin naczyniowych, mszaków i porostów wzdłuż transektów, jak również szczegółowe wykresy pokrycia gatunków roślin naczyniowych. Biorąc pod uwagę zmiany składu gatunkowego zbiorowisk – pojawianie się kolejnych gatunków i ich zanikanie, zmiany stopnia pokrycia – zarówno ogólnego, jak i poszczególnych grup organizmów, a także zmiany ilościowości gatunków, określono następujące po sobie etapy sukcesji na transektach. Dla transektu na Gåsbreen wykonano analizę porównawczą frekwencji stanowisk o różnym stopniu pokrycia poszczególnych grup roślinności i różnym bogactwie gatunkowym roślin naczyniowych na fragmentach o różnym wieku podłoża; do zweryfikowania istotności różnic wykorzystano testy dla proporcji. Tymi testami posłużono się również w celu określenia istotności różnic w zakresie frekwencji poszczególnych grup

organizmów pomiędzy przedpolami obu lodowców. Istotność różnic w zawartości pierwiastków w glebach badanych przedpoli i w wartości pH sprawdzano przy zastosowaniu testu t Studenta dla prób niezależnych.

W celu określenia wpływu głównych czynników środowiskowych na proces sukcesji na obu transektach zestawiono dane dotyczące bogactwa gatunkowego i stopnia pokrycia z informacjami na temat wieku i nachylenia podłoża. Biorąc pod uwagę dane z literatury spodziewno się, że największy wpływ na roślinność wzdłuż transektu będą miały: odległość od początku transektu i związany z nią wiek podłoża, a także stopień nachylenia podłoża, przekładający się na jego stabilność. Znaczenie powinna mieć również ekspozycja zboczy wzniesień. W celu weryfikacji tych przypuszczeń przeprowadzono najpierw analizę korelacji, wykorzystując metodę korelacji porządku rang Spearmana. Następnie wykonano kanoniczną analizę zgodności (CCA). Do obu tych analiz zamieniono stopnie pokrycia: „+” na 0,5, „r” na 0,1. Brano pod uwagę części transektów od momentu pojawienia się pierwszych roślin. Dokonano selekcji zmiennych do analizy CCA, sprawdzając ich istotność statystyczną przy użyciu testu permutacyjnego Monte Carlo (n=499 permutacji). Brano pod uwagę zmienne, dla których wartość p była mniejsza od 0,05 oraz takie, dla których była ona niewiele większa od progu 0,05 i które były silnie skorelowane z występowaniem poszczególnych gatunków.

Do analiz statystycznych wykorzystano program STATISTICA v. 9.0 (StatSoft Inc. 2009); analizę CCA wykonano przy użyciu programu CANOCO v. 4.5 (Ter Braak, Šmilauer 2002). Ryciny wykonano przy pomocy programu Corel Draw X5. Fotografie, których autorzy nie zostali wyszczególnieni w podpisach rycin, zostały wykonane przez autorkę obecnej pracy.

Nazwy gatunkowe roślin naczyniowych podano za Rønning (1996) oraz za serwisem “The Flora of Svalbard”, porostów – za Index Fungorum, natomiast mszaków – za: Frisvoll, Elvebakk (1996); Hill i in. (2006); Ochyra i in. (2008). W trakcie analiz gatunki z kompleksu *Draba alpina* (*D. alpina* s. s., *D. corymbosa*, *D. oxycarpa*) traktowano zbiorczo.

Informacje na temat siedlisk i zasięgów poszczególnych gatunków pochodzą z następujących źródeł:

- rośliny naczyniowe: Dubiel 1991; Hultén, Fries 1986; Rebernic i. in. 2009; Rønning 1996; The Flora of Svalbard.

- mszaki: Flora of North America Editorial Committee 2007; Akiyama i in. 2009; Convey i in. 2000; Frisvoll, Elvebakk 1996; Hill i in. 2006; Holyoak 2004; Lüth 2007; Newsham 2010; Ochyra i in. 2008; Smith 1978; Święs, Karczmarz 1993.
- porosty: Index Fungorum; Elvebakk, Hertel 1996; Flakus 2007; Krzewicka, Maciejowski 2008; Olech 1990; Olech 1987; Osyczka 2006; Osyczka i in. 2009; Øvstedal i in. 2009; Redchenko i in. 2010; Smith i in. 2009; Thomson 1984, 1997.

4. Wyniki

4.1. Charakterystyka gatunków

W obrębie stref marginalnych lodowców Gåsbreen i Longyearbreen zanotowano łącznie 27 gatunków roślin naczyniowych (Tab. 2). Większość z nich można zaliczyć do częstych na całym Svalbardzie. *Cerastium regelli*, *Draba arctica*, *Draba corymbosa* i *Trisetum spicatum* są pospolite w środkowej części Spitsbergenu i wzdłuż jego zachodnich wybrzeży, a rzadsze w pozostałych, chłodniejszych częściach archipelagu. Dwa gatunki, *Draba micropetala* (zanotowany na Longyearbreen) i *Puccinellia vahliana* (zanotowany na Gåsbreen), umieszczone zostały na czerwonej liście roślin Svalbardu ("The Flora of Svalbard"). *Draba micropetala* jest znana ze stosunkowo niewielkiej liczby rozproszonych stanowisk w różnych częściach archipelagu, natomiast przypadku *Puccinellia vahliana* powodem klasyfikacji nie była niewielka liczba stanowisk, lecz potencjalna wrażliwość na wzrost temperatury powietrza w związku ze zmianami klimatu w najbliższych latach (Rebernik i in. 2009). Najliczniej reprezentowane były rodziny *Brassicaceae* i *Caryophyllaceae* (po 6 przedstawicieli), następnie *Poaceae* (5 gatunków) i *Saxifragaceae* (4 gatunki).

Zasięgi geograficzne zanotowanych gatunków roślin obejmują półkulę północną. Najwięcej roślin (12 gatunków) reprezentuje element arktyczno-alpejski cyrkumpolarny oraz arktyczny cyrkumpolarny (10 gatunków). Trzy gatunki (*Cerastium regelli*, *Draba oxycarpa* i *Papaver dahlianum*) należą do elementu arktycznego amfiatlantyckiego, a dwa (*Cerastium arcticum* i *Deschampsia alpina*) do elementu arktyczno-alpejskiego amfiatlantyckiego. Jeśli chodzi o wymagania siedliskowe, większość zanotowanych gatunków preferuje podłoże gruboziarniste, często żwirowe, oraz miejsca o nieciągłej pokrywie roślinnej.

Zdecydowana większość spośród 18 gatunków mszaków zanotowanych na badanych przedpolach (Tab. 2) to gatunki częste na całym Svalbardzie. Wyjątek stanowią *Andreaea blyttii* oraz *Bryum calophyllum*, podawane jako niezbyt częste. Najwięcej znaleziono przedstawicieli rodzin *Bryaceae* oraz *Mielichhoferiaceae* (po 3 gatunki). Zasięgi większości mszaków obejmują obszary strefy polarnej i umiarkowanej położone na obu półkulach, pięć z nich spotykanych jest wyłącznie na półkuli północnej. Dominują gatunki spotykane w siedliskach osłoniętych i wilgotnych, z wyjątkiem *Niphotrichum canescens* i *Racomitrium lanuginosum*, które występują na żwirowym podłożu, głównie w miejscach suchych.

Biota porostów badanego terenu liczy 54 gatunki, z czego 8 gatunków (głównie z rodzajów *Stereocaulon*, *Cladonia*, *Cetraria* s.l.) zanotowano na glebie, pozostałe to porosty naskalne (epilityczne). Wśród porostów spotykano zarówno gatunki pospolite, jak i rzadsze. Trzy gatunki: *Aspicilia aquatica*, *Lecidea plana* i *Verrucaria deversa*, uważane są za bardzo rzadkie.

4.1.1. Rośliny naczyniowe

1. *Carex lachenalii* Schkuhr. (*Cyperaceae*)

Siedlisko: gatunek ten można spotkać na wilgotnym podłożu piaszczystym i żwirowym, pomiędzy kamieniami lub mchem na brzegach strumieni i jezior. Jest on słabo kalcyfilny.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek jest rozpowszechniony w różnych częściach Svalbardu, ale nie pospolity. Najczęściej występuje na środkowym Spitsbergenie.

2. *Cerastium arcticum* Lange coll. (*Caryophyllaceae*) (Ryc. 20d)

Siedlisko: *Cerastium arcticum* zasiedla miejsca wilgotne, o różnym rodzaju podłoża.

Zasięg: amfiatlantycki, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym Svalbardzie.

3. *Cerastium regelli* Ostenf. (*Caryophyllaceae*) (Ryc. 20c)

Siedlisko: gatunek spotykany jest na dość wilgotnym podłożu żwirowym, często w miejscach narażonych na soliflukcję.

Zasięg: arktyczny, amfiatlantycki.

Występowanie na Svalbardzie: rozpowszechniony na całym archipelagu, ale nie pospolity.

4. *Cochlearia groenlandica* L. coll. (*Brassicaceae*)

Siedlisko: gatunek ten rośnie najczęściej na podłożu żwirowym, w miejscach o nieciągłej pokrywie roślinnej; również pod zboczami zajętych przez kolonie ptaków; nitrofilny.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym archipelagu.

5. *Deschampsia alpina* (L.) Roem, Schultes (*Poaceae*)

Siedlisko: gatunek ten rośnie na wilgotnym, kamienistym podłożu.

Zasięg: amfiatlantycki, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym archipelagu.

6. *Draba alpina* L. (*Brassicaceae*) (Ryc. 20b)

Siedlisko: *Draba alpina* zasiedla zwykle miejsca osłonięte, najczęściej o długo zalegającej pokrywie śnieżnej; rośnie na podłożu zarówno kwaśnym, jak i zasadowym; spotykana również w zaburzonych siedliskach, np. na skraju dróg.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity.

7. *Draba arctica* J.Vahlssp. *arctica* (*Brassicaceae*) (Ryc. 20a)

Siedlisko: gatunek ten preferuje suche, żwirowe podłoże na zboczach, wałach morenowych i innych skalistych wzniesieniach.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek ten jest pospolity na wybrzeżu oraz w okolicach fiordów środkowej i zachodniej części Svalbardu, natomiast rzadki na północy i południu.

8. *Draba corymbosa* R. Br. ex DC. (*Brassicaceae*)

Siedlisko: *Draba corymbosa* występuje na suchym, żwirowym podłożu, neutralnym bądź alkalicznym; najczęściej w miejscach o cienkiej pokrywie śnieżnej, takich, jak grzbiety niewielkich wzniesień.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek ten jest pospolity na środkowym Spitsbergenie i na jego północno-zachodnich wybrzeżach, w innych rejonach notowane rozproszone stanowiska; spotykany jest nawet na najbardziej na północ wysuniętych wysepkach Svalbardu.

9. *Draba micropetala* Hook. (*Brassicaceae*)

Siedlisko: gatunek preferuje żwirowate podłoże w miejscach o nieciągłej pokrywie roślinności, na glebach poligonowych.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: znane są rozproszone stanowiska wzdłuż fiordów środkowego Spitsbergenu oraz na zachodnich i północnych wybrzeżach.

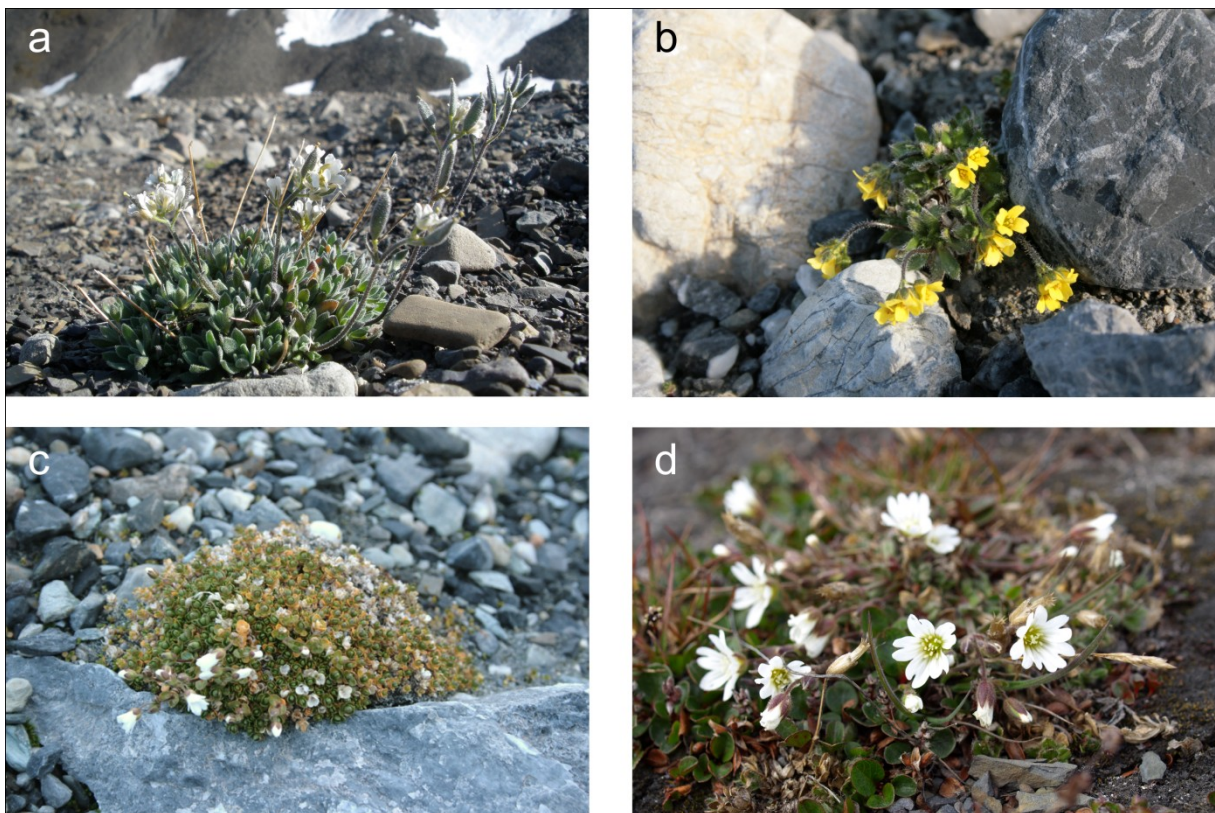
Gatunek na czerwonej liście.

10. *Draba oxycarpa* Sommerf. (*Brassicaceae*)

Siedlisko: gatunek ten spotykany jest w siedliskach zarówno wilgotnych, jak i suchych.

Zasięg: amfiatlantycki, arktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity, zwłaszcza na środkowym Spitsbergenie oraz wzdłuż zachodnich wybrzeży.



Ryc. 20. Wybrane gatunki roślin występujących na przedpolach Gåsbreen i Longyearbreen; (a) *Draba arctica*, (b) *Draba alpina* s. l., (c) *Cerastium regelli*, (d) *Cerastium arcticum*. Foto: (a) Ólóf Birna Mágnumsdóttir, (d) Michał Węgrzyn.

11. *Luzula confusa* Lindeb. (*Juncaceae*)

Siedlisko: gatunek spotykany w suchych miejscach.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym Svalbardzie.

12. *Luzula nivalis* (Laest.) Spreng. (*Juncaceae*)

Siedlisko: gatunek występuje w miejscach suchych.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: *Luzula nivalis* jest gatunkiem bardzo pospolitym na całym Svalbardzie.

13. *Micranthes nivalis* Small. = *Saxifraga nivalis* L. (*Saxifragaceae*)

Siedlisko: gatunek występuje na podłożu żwirowym, w miejscach zarówno suchych, jak i wilgotnych.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek rozpowszechniony na całym archipelagu.

14. *Minuartia rubella* (Wahlenb.) Hiern (*Caryophyllaceae*)

Siedlisko: gatunek preferuje podłoże żwirowe, raczej suche; często spotykany na osypiskach skalnych.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek ten występuje na całym archipelagu i jest dość częsty.

15. *Oxyria dygina* (L.) Hill (*Polygonaceae*) (Ryc. 21d)

Siedlisko: *Oxyria dygina* spotykana jest na wilgotnych stanowiskach między kamieniami, często w pobliżu cieków wodnych.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym Svalbardzie.

16. *Papaver dahlianum* Nordh. (*Papaveraceae*) (Ryc. 21b)

Siedlisko: gatunek ten występuje na żwirowym podłożu, w miejscach o nieciągłej pokrywie roślinnej, głównie w siedliskach suchych, ale również w wilgotnych.

Zasięg: amfiatlantycki, arktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: *Papaver dahlianum* jest rozpowszechniony zarówno na nizinach, jak i w górach całego archipelagu, spotykany wyżej nad poziomem morza, niż jakakolwiek inna roślina naczyniowa na Svalbardzie.

17. *Poa alpina* var. *vivipara* L. (*Poaceae*) (Ryc. 21c)

Siedliska: gatunek występuje w miejscach wilgotnych, często o dużym natężeniu procesów soliflukcji oraz w pobliżu pól śnieżnych, na nizinach i w górach

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym archipelagu.

18. *Poa arctica* (*Poaceae*)

Siedliska: gatunek ten preferuje pagórkowate, nierówne podłoże, często występuje wśród mchów.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek ten rozprzestrzeniony jest na całym archipelagu.

19. *Puccinellia vahliana* (Liebm.) Scribn., Merr. (*Poaceae*)

Siedlisko: *Puccinellia vahliana* preferuje raczej wilgotne podłoże piaszczyste lub gliniaste w miejscach chłodnych, o nieciągłej pokrywie roślinnej; gatunek kalcyfilny.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek dość rozpowszechniony, zwłaszcza w środkowej i północno-zachodniej części Spitsbergenu.

Gatunek na czerwonej liście z powodu wrażliwości na ocieplenie klimatu.

20. *Sagina nivalis* (Lindbl.) Fr. (*Caryophyllaceae*)

Siedlisko: gatunek występuje na podłożu żwirowym w miejscach o nieciągłej pokrywie roślinnej.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczny.

Zasięg na Svalbardzie: gatunek o szerokim zasięgu na archipelagu, dość częsty.

21. *Salix polaris* Wahlenb. (*Salicaceae*) (Ryc. 21a)

Siedlisko: *Salix polaris* występuje zwykle na gruboziarnistym podłożu.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym Svalbardzie.

22. *Saxifraga cernua* L. (*Saxifragaceae*) (Ryc. 22d)

Siedlisko: gatunek spotykany jest na wilgotnym podłożu żwirowym, czasem wśród mchów.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym archipelagu.

23. *Saxifraga cespitosa* L. **ssp. cespitosa** (*Saxifragaceae*) (Ryc. 22c)

Siedlisko: gatunek zasiedla żwirowe podłoże, zarówno w miejscach niezarośniętych, jak i tych o zwartej pokrywie roślinnej.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym archipelagu.

24. *Saxifraga oppositifolia* L. **ssp. oppositifolia** (*Saxifragaceae*) (Ryc. 22a, b)

Siedlisko: gatunek spotykany na podłożu żwirowym, zarówno w miejscach niezarośniętych, jak i tych o zwartej pokrywie roślinnej.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek bardzo pospolity na całym archipelagu.

25. *Silene acaulis* (L.) Jacq. (*Caryophyllaceae*)

Siedlisko: gatunek ten rośnie na suchym podłożu żwirowym, bądź w szczelinach skalnych.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym archipelagu.

26. *Silene uralensis* (Rupr.) Bocquet **ssp. arctica** (Th.Fr.) Bocquet (*Caryophyllaceae*)

Siedlisko: najczęściej gatunek ten rośnie na dość wilgotnym podłożu piaszczystym i żwirowym, w miejscach o nieciągłej pokrywie roślinnej w pobliżu potoków.

Zasięg: cyrkumpolarny arktyczno-alpejski (poza Arktyką w górach Azji).

Występowanie na Svalbardzie: gatunek rozpowszechniony zwłaszcza na środkowym Spitsbergenie oraz jego północnych i zachodnich wybrzeżach.

27. *Stellaria longipes* Goldie coll. (*Caryophyllaceae*)

Siedlisko: *Stellaria longipes* jest gatunkiem kalcyfilnym, występuje zwykle na podłożu żwirowym, preferuje miejsca suche.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczny.

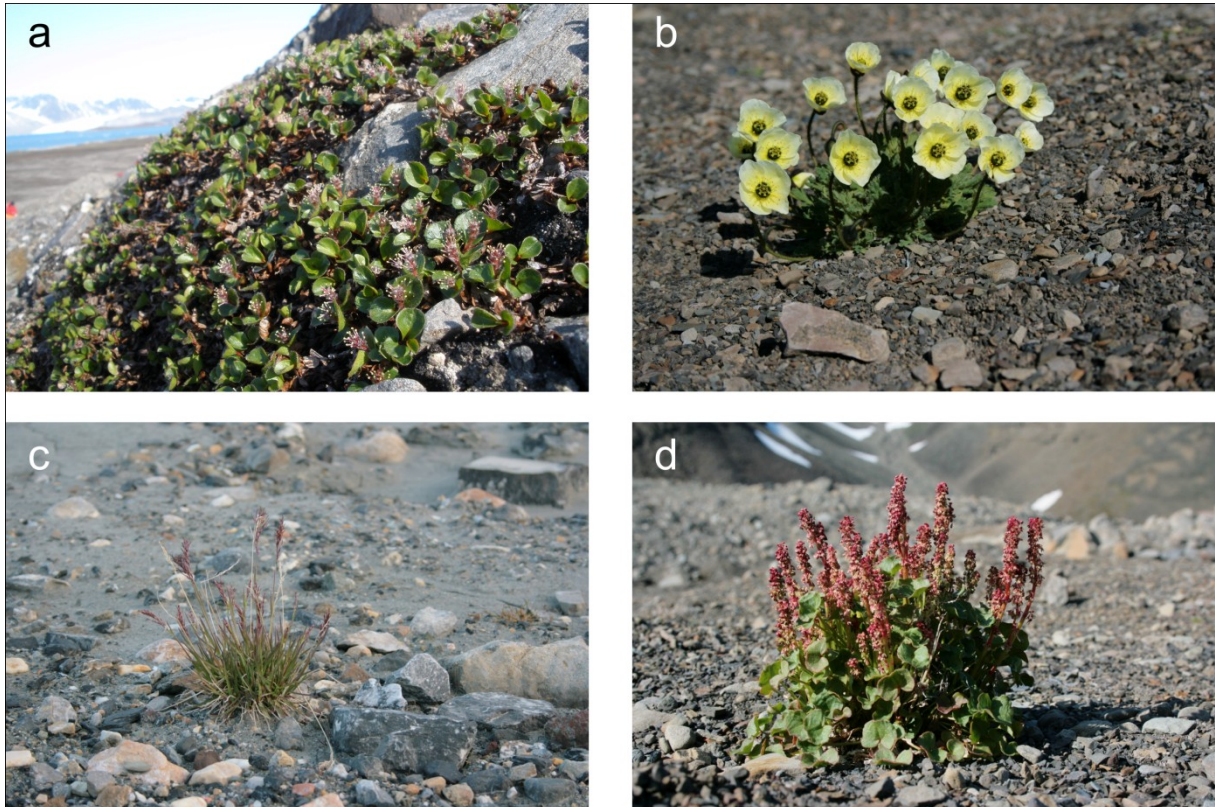
Występowanie na Svalbardzie: gatunek ten jest rozpowszechniony zwłaszcza na środkowym oraz północnym Spitsbergenie, lokalnie bardzo częsty.

28. *Trisetum spicatum* (L.) Kroch. ssp. *spicatum* (Poaceae)

Siedlisko: gatunek ten występuje zwykle na podłożu alkalicznym, żwirowym, w miejscach o nieciągłej pokrywie roślinnej.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na środkowym Spitsbergenie i wzdłuż zachodnich wybrzeży, natomiast rzadki w innych rejonach.



Ryc. 21. Wybrane gatunki roślin występujących na przedpolach Gåsbreen i Longyearbreen; (a) *Salix polaris*, (b) *Papaver dahlianum*, (c) *Poa alpina* var. *vivipara*, (d) *Oxyria dygina*.

Foto: (a) Ólöf Birna Magnúsdóttir.

4.1.2. Mszaki

1. *Aloina brevirostris* (Hook., Grev.) Kindb. (Pottiaceae)

Siedlisko: gatunek ten spotykany jest w siedliskach suchych bądź okresowo wilgotnych, na podłożu mulistym bądź mulisto-żwirowym między kamieniami, w pobliżu potoków.

Występuje on również w szczelinach skalnych i na półkach skalnych przykrytych cienką warstwą gleby.

Zasięg: bipolarny z nielicznymi tylko stanowiskami w niższych szerokościach geograficznych, na południu znany z Półwyspu Antarktycznego oraz południowej Afryki.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek częsty i rozpowszechniony, notowany na południowym, środkowym, północno-zachodnim i północnym Spitsbergenie oraz na wyspie Edgeøya.

2. *Andreaea blyttii* Schimp. (*Andreaeaceae*)

Siedlisko: jest to stenotypiczny gatunek, występujący na wyleżyskach śnieżnych na granitowych bądź innych kwarcytowych skałach, zwykle w górach.

Zasięg: gatunek ten znany jest z Arktyki i gór Skandynawii.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek niezbyt częsty, ale występujący w różnych miejscach Svalbardu. Podawany z południowego i północno-zachodniego Spitsbergenu oraz innych wysp archipelagu (Bjørnøya, Nordaustlandet).

3. *Brachythecium turgidum* (Hartm.) Kindb. (*Brachytheciaceae*)

Siedlisko: wilgotne siedliska, na kamienistej glebie.

Zasięg: półkula północna: arktyczno-borealno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek częsty, występuje na całym archipelagu.

4. *Bryum bicolor* C. Müller (*Bryaceae*)

Siedlisko: gatunek ten występuje na kamienistej glebie, w siedliskach wilgotnych, często w pobliżu cieków wodnych.

Zasięg: Europa i Ameryka Północna.

Występowanie na Svalbardzie: brak jest pełnych danych, gatunek wymaga rewizji.

5. *Bryum calophyllum* R.Br. (*Bryaceae*)

Siedlisko: gatunek naziemny, kalcyfilny, występuje w miejscach podmokłych.

Zasięg: Arktyka i strefa umiarkowana półkuli północnej.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek rozpowszechniony, ale niezbyt częsty, notowany z południa Spitsbergenu, zachodniego i północno-zachodniego wybrzeża oraz z okolic Longyearbyen.

6. ***Bryum pseudotriquetrum*** (Hedw.) P. Gaertn. i in. (*Bryaceae*)

Siedlisko: jest to gatunek ubikwistyczny, występujący w różnorodnych siedliskach.

Zasięg: gatunek uważany przez jednych autorów za bipolarny z nielicznymi stanowiskami w niskich szerokościach geograficznych, natomiast przez innych za niemal kosmopolityczny.

Występowanie na Svalbardzie: jeden z pospolitszych gatunków na Svalbardzie.

7. ***Bryum triquetrum*** Hook., Taylor = *Meesia triquetra* (Richter) Ångstr. (*Bryaceae*)

Siedlisko: gatunek rośnie w miejscach o wysokim pH.

Zasięg: Arktyka, Europa, Ameryka Północna, północna Azja.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

8. ***Cephaloziella varians*** (Gottsche) Steph. = *Cephaloziella arctica* Bryhn, Douin
(*Cephaloziellaceae*)

Siedlisko: ten gatunek wątrobowca spotykany jest na wilgotnych bądź mokrych stanowiskach, w miejscach nachylonych (często w korytach cieków okresowych), pomiędzy mchami lub na obumarłych szczątkach mchów, często na podłożu kwaśnym, lecz również na alkalicznym.

Bardzo odporny na trudne warunki klimatyczne.

Zasięg: na półkuli północnej arktyczno-alpejski, na półkuli południowej występuje w Antarktyce morskiej i – jako jedyny wątrobowiec – kontynentalnej; poza tym w obszarze subantarktycznym oraz w Nowej Zelandii.

Występowanie na Svalbardzie: jeden z najczęstszych wątrobowców na Svalbardzie.

9. ***Dicranoweisia crispula*** (Hedw.) Milde (*Rhabdoweisiaceae*)

Siedlisko: *Dicranoweisia crispula* występuje na podłożu alkalicznym w miejscach osłoniętych, rzadziej eksponowanych.

Zasięg: strefy polarne obu półkul i obszary górskie.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

10. ***Distichum inclinatum*** (Hedw.) Bruch, Schimp. (*Ditrichaceae*)

Siedlisko: gatunek występuje na glebie o odczynie zasadowym.

Zasięg: na półkuli północnej arktyczno-borealny, pospolity w Arktyce; na półkuli południowej dotychczas zanotowano jedno stanowisko (Wyspa Rossa, Antarktyka).

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

11. *Hypnum bambergeri* Schimp. (*Hypnaceae*)

Siedlisko: gatunek naskalny, preferuje podłoże zasadowe.

Zasięg: arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

12. *Niphotrichum canescens* (Hedw.) Bednarek-Ochyra, Ochyra = *Racomitrium canescens* (Hedw.) Brid. (*Grimmiaceae*)

Siedlisko: gatunek ten preferuje podłoże żwirowe.

Zasięg: półkula północna.

Występowanie na Svalbardzie: częsty, o szerokim zasięgu na Svalbardzie.

13. *Pogonatum urnigerum* (Hedw.) P.Beauv. (*Polytrichaceae*)

Siedlisko: *Pogonatum urnigerum* spotykany jest na podłożu piaszczystym lub żwirowym, w szczelinach i zagłębieniach skalnych, na brzegach cieków wodnych, a także w miejscach o długo zalegającej pokrywie śnieżnej.

Zasięg: półkula północna.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek częsty na całym archipelagu.

14. *Pohlia annotina* (Hedw.) Lindb. (*Mielichhoferiaceae*)

Siedlisko: gatunek ten preferuje wilgotne siedliska, w miejscach o nieciągłej pokrywie roślinnej.

Zasięg: Arktyka, Europa, Ameryka północna, Azja Mniejsza.

Występowanie na Svalbardzie: brak kompletnych danych, temat wymaga rewizji.

15. *Pohlia cruda* (Hedw.) Lindb. (*Mielichhoferiaceae*)

Siedlisko: gatunek spotykany w szczelinach skalnych, na podłożu tak wapiennym, jak i kwaśnym.

Zasięg: *Pohlia cruda* uważany jest przez jednych autorów za bipolarny z nielicznymi stanowiskami w niskich szerokościach geograficznych, natomiast przez innych za kosmopolityczny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek częsty na całym archipelagu.

16. *Pohlia drummondii* (Müll. Hal.) Andrews (*Mielichhoferiaceae*)

Siedlisko: gatunek preferuje wilgotne bądź mokre stanowiska, podłoże piaszczyste bądź żwirowe, często na przedpolach lodowców, w pobliżu cieków wodnych.

Zasięg: na półkuli północnej arktyczno-borealno-alpejski, na półkuli południowej subantarktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: częsty na całym archipelagu.

17. *Racomitrium lanuginosum* (Hedw.) Brid. (*Grimmiaceae*)

Siedlisko: ten gatunek występuje w suchych, eksponowanych miejscach, na kamienistym podłożu.

Zasięg: na półkuli północnej arktyczno-borealno-alpejski, na półkuli południowej cyrkumpolarny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym archipelagu.

18. *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske (*Amblystegiaceae*)

Siedlisko: gatunek ubikwistyczny, występuje w szerokim spektrum siedlisk.

Zasięg: na półkuli północnej cyrkumpolarny arktyczny, pospolity w całej Arktyce, spotykany też w strefie umiarkowanej; na półkuli południowej występuje w strefie umiarkowanej.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.



Ryc. 22. Wybrane gatunki roślin występujących na przedpolach Gåsbreen i Longyearbreen; (a) *Saxifraga oppositifolia*, (b) *Andreaea blyttii* i *S. oppositifolia*, (c) *Saxifraga cespitosa*, (d) *Saxifraga cernua*. Foto: (a), (d) Ólöf Birna Magnúsdóttir.

4.1.3. Porosty

1. *Acarospora sinopica* (Wahlenb.) Körb.

Siedlisko: epilityczny, acydofilny, występuje na skałach bogatych w związki żelaza.

Zasięg: na półkuli północnej ma zasięg arktyczno-alpejski, na półkuli południowej spotykany jest w Australii.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek rozpowszechniony, ale nie pospolity, spotykany najczęściej w środkowej i zachodniej części Spitsbergenu.

2. *Amandinea punctata* (Hoffm.) Coppins, Scheid.

Siedlisko: *Amandinea punctata* spotykana jest na różnorodnym podłożu. W Arktyce epiksyliczny, epibryofityczny, epilityczny.

Zasięg: gatunek ma szeroki zasięg, spotykany jest na obu półkulach.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity, najczęściej podawany z północnego Spitsbergenu.

3. *Aspicilia caesiocinerea* (Nyl. ex Malbr.) Arnold

Siedlisko: gatunek epilityczny, występuje na skałach kwaśnych.

Zasięg: spotykany w obszarach polarnych i umiarkowanych obu półkul.

Występowanie na Svalbardzie: dotychczas znanych jest kilka rozproszonych stanowisk tego gatunku.

4. *Aspicilia aquatica* Körb.

Siedlisko: ten epilityczny gatunek preferuje wilgotne siedliska, jest acydofilny; spotykany często w pobliżu jezior i strumieni.

Zasięg: Obszary polarne obu półkul, strefa umiarkowana półkuli północnej.

Występowanie na Svalbardzie: dotychczas znane jest jedno stanowisko, w Kjellstrømdalen, na środkowo-wschodnim Spitsbergenie.

5. *Aspicilia disserpens* (Zahlbr.) Räsänen

Siedlisko: gatunek epilityczny, spotykany zarówno na skałach wapiennych, jak i niewapiennych.

Zasięg: cyrkumpolarny arktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym archipelagu.

6. *Aspicilia mashiginensis* (Zahlbr.) Oxner

Siedlisko: gatunek epilityczny, ornitokoprofilny, występuje na skałach niewapiennych.

Zasięg: Arktyka europejska i północnoamerykańska.

Występowanie na Svalbardzie: zanotowano dotychczas kilka rozproszonych stanowisk, w różnych częściach Svalbardu.

7. *Buellia aethalea* (Ach.) Th. Fr.

Siedlisko: jest to gatunek epilityczny, acydofilny.

Zasięg: obszary polarne obu półkul.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym archipelagu.

8. *Buellia badia* (Fr.) A. Massal.

Siedlisko: gatunek epilityczny, spotykany na piaskowcach.

Zasięg: gatunek znany jest z Europy (strefy arktycznej i umiarkowanej) oraz z Ameryki Południowej.

Występowanie na Svalbardzie: znanych jest kilka rozproszonych stanowisk, w różnych częściach Svalbardu.

9. *Candelariella aurella* (Hoffm.) Zahlbr.

Siedlisko: różne rodzaje podłoża wapiennego lub użyźnionego związkami mineralnymi

Zasięg: na półkuli północnej gatunek arktyczny cyrkumpolarny i borealny, spotykany także na półkuli południowej.

Występowanie na Svalbardzie: dość częsty porost, podawany z różnych rejonów Svalbardu.

10. *Candelariella vitellina* (Ehrh.) Müll. Arg.

Siedlisko: gatunek występuje na różnych typach podłoża.

Zasięg: obszary polarne i umiarkowane obu półkul.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

11. *Carbonea vorticosa* (Flörke) Hertel

Siedlisko: gatunek ten jest najczęściej epilityczny, rzadko epiksyliczny, zasiedla najczęściej kwaśne skały, w eksponowanych miejscach.

Zasięg: na półkuli północnej arktyczno-alpejski, cyrkumpolarny, spotykany także na półkuli południowej.

Występowanie na Svalbardzie: podawany jest z różnych części Svalbardu, według jednych źródeł pospolity, natomiast według innych rozproszony.

12. *Cetraria ericetorum* Opiz

Siedlisko: porost ten jest najczęściej epigeiczny, spotykany również na szczątkach organicznych, między mchami.

Zasięg: na półkuli północnej cyrkumpolarny arktyczno-alpejsko-borealny; na półkuli południowej podawany z Ameryki Południowej

Występowanie na Svalbardzie: rzadki.

13. *Cladonia amaurocraea* (Flörke) Schaer.

Siedlisko: gatunek epigeiczny, rośnie często na glebie bogatej w związki organiczne, w jasnych i suchych miejscach.

Zasięg: półkula północna, cyrkumpolarny arktyczny i borealny.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

14. *Cladonia gracilis* (L.) Willd.

Siedlisko: gatunek epigeiczny, spotykany również na humusie, czasem epibryofityczny, preferuje jasne i raczej suche miejsca.

Zasięg: gatunek kosmopolityczny.

Występowanie na Svalbardzie: częsty na całym archipelagu.

15. *Cladonia mitis* Sandst. (Ryc. 23c)

Siedlisko: gatunek epigeiczny, spotykany pomiędzy mchami w suchych i jasnych miejscach.

Zasięg: cyrkumpolarny, strefa polarna i umiarkowana obu półkul.

Występowanie na Svalbardzie: częsty na całym archipelagu.

16. *Cladonia pyxidata* (L.) Hoffm.

Siedlisko: gatunek epigeiczny, a także epibryofityczny, występuje na kwaśnych glebach mineralnych, a także na humusie, w suchych, eksponowanych miejscach.

Zasięg: gatunek kosmopolityczny.

Występowanie na Svalbardzie: częsty na całym archipelagu.

17. *Collema ceraniscum* Nyl.

Siedlisko: *Collema ceraniscum* występuje na szczątkach roślin, glebie bogatej w humus, kamieniach.

Zasięg: bipolarny, na półkuli północnej arktyczny cyrkumpolarny.

Występowanie na Svalbardzie: jest to gatunek częsty na całym archipelagu.

18. *Eiglera flavida* (Hepp) Hafellner

Siedlisko: porost epilityczny, zasiedla zarówno kwaśne, jak i zasadowe skały, preferuje wilgotne siedliska.

Zasięg: bipolarny, na półkuli północnej arktyczny cyrkumpolarny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek częsty na całym archipelagu.

19. *Flavocetraria nivalis* (L.) Kärnefelt, A. Thell

Siedlisko: gatunek epigeiczny, występuje w eksponowanych miejscach.

Zasięg: na półkuli północnej arktyczno-alpejski i borealny, występuje także na półkuli południowej.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

20. *Lecanora atromarginata* (H. Magn.) Hertel, Rambold

Siedlisko: epilityczny, występuje na skałach zasadowych.

Zasięg: bipolarny (Arktyka europejska i północnoamerykańska, Antarktyka)

Występowanie na Svalbardzie: gatunek częsty na całym archipelagu.

21. *Lecanora polytropa* (Ehrh.) Rabenh.

Siedlisko: gatunek epilityczny, spotykany zarówno na skałach wapiennych, jak i niewapiennych.

Zasięg: gatunek kosmopolityczny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek częsty, zwłaszcza na północy Svalbardu.

22. *Lecidea auriculata* Th. Fr.

Siedlisko: gatunek epilityczny, preferuje kwaśne skały w nasłonecznionych miejscach

Zasięg: cyrkumpolarny arktyczny, subarktyczny, północna część strefy borealnej półkuli północnej.

Występowanie na Svalbardzie: dość częsty, zwłaszcza na środkowym Spitsbergenie.

23. *Lecidea lapicida* (Ach.) Ach.

Siedlisko: jest to porost epilityczny, spotykany na kwaśnych skałach, w miejscach eksponowanych.

Zasięg: cyrkumpolarny arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym archipelagu.

24. *Lecidea plana* (J. Lahm) Nyl.

Siedlisko: gatunek epilityczny, acydofilny.

Zasięg: na półkuli północnej cyrkumpolarny arktyczno-alpejski, gatunek ten występuje także na półkuli południowej.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek rzadki, podawany dotychczas z dwóch miejsc: Isfjordu na środkowym Spitsbergenie i z Bockfjordu na północy Spitsbergenu.

25. *Ochrolechia frigida* (Sw.) Lynge

Siedlisko: *Ochrolechia frigida* występuje na glebie, mchach, szczątkach roślinnych, u podstawy roślin.

Zasięg: bipolarny; na półkuli północnej cyrkumpolarny arktyczno-alpejski, spotykany również na półkuli południowej.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

26. *Pertusaria oculata* (Dicks.) Th. Fr.

Siedlisko: gatunek ten rośnie na glebie, również na cienkiej warstwie gleby pokrywającej skały, a także na mszakach.

Zasięg: na półkuli północnej cyrkumpolarny arktyczny, na półkuli południowej gatunek podawany z Argentyny.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

27. *Phyrcia caesia* (Hoffm.) Hampe ex Fűrnr.

Siedlisko: gatunek ten występuje na różnych rodzajach siedlisk bogatych w związki mineralne, w Arktyce epilityczny i ornitokoprofilny.

Zasięg: gatunek kosmopolityczny.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

28. *Polyblastia cupularis* A. Massal.

Siedlisko: gatunek epilityczny, spotykany na piaskowcach i wapieniach, w eksponowanych miejscach.

Zasięg: na półkuli północnej cyrkumpolarny arktyczno-alpejski, na półkuli południowej znany z Australii.

Występowanie na Svalbardzie: dotychczas znanych jest kilka rozproszonych stanowisk.

29. *Polyblastia hyperborea* Th. Fr.

Siedlisko: *Polyblastia hyperborea* to gatunek epilityczny, kalcyfilny.

Zasięg: arktyczny, cyrkumpolarny.

Występowanie na Svalbardzie: prawdopodobnie jest gatunkiem częstym, ale jego rozmieszczenie na Svalbardzie wymaga rewizji.

30. *Polyblastia theleodes* (Sommerf.) Th. Fr.

Siedlisko: gatunek epilityczny, najczęściej porasta skały wapienne, spotykany też na skałach kwaśnych.

Zasięg: obszary polarne i strefy umiarkowanej półkuli północnej.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek rozpowszechniony, ale nieczęsty; podawany z północnego i północno-wschodniego Spitsbergenu, z południa Spitsbergenu oraz z innych wysp Svalbardu.

31. *Porpidia tuberculosa* (Sm.) Hertel, Knoph

Siedlisko: gatunek epilityczny, rosnący na kwaśnych skałach w eksponowanych miejscach.

Zasięg: strefa polarna i umiarkowana Europy i Ameryki Północnej.

Występowanie na Svalbardzie: rozproszony w różnych częściach archipelagu, ale nieczęsty.

32. *Protoblastenia rupestris* (Scop.) J. Steiner

Siedlisko: gatunek epilityczny, kalcyfilny.

Zasięg: gatunek kosmopolityczny.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

33. *Protopannaria pezizoides* (Weber ex F.H. Wigg.) P.M. Jørg., S. Ekman

Siedlisko: gatunek epigeiczny, występujący również na mszakach i drewnie.

Zasięg: obszary polarne i umiarkowane półkuli północnej, spotykany także w Afryce

Występowanie na Svalbardzie: bardzo pospolity na całym archipelagu.

34. *Protoparmelia badia* (Hoffm.) Hafellner

Siedlisko: gatunek epilityczny, spotykany na kwaśnych skałach.

Zasięg: gatunek kosmopolityczny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym Svalbardzie.

35. *Protothelenella sphincrinoides* (Nyl.) H. Mayrhofer, Poelt

Siedlisko: gatunek ten rośnie na martwych mszakach i piaszczystej glebie w wilgotnych miejscach o długo zalegającej pokrywie śnieżnej.

Zasięg: arktyczno-alpejski, cyrkumpolarny.

Występowanie na Svalbardzie: rozproszone stanowiska z różnych części Svalbardu.

36. *Pseudephebe pubescens* (L.) M. Choisy

Siedlisko: gatunek epilityczny, spotykany na kwaśnych skałach.

Zasięg: obszary polarne i górskie obu półkul.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek pospolity na całym archipelagu.

37. *Rhizocarpon geminatum* Körb.

Siedlisko: gatunek epilityczny, występujący zarówno na kwaśnym, jak na zasadowym podłożu.

Zasięg: bipolarny.

Występowanie na Svalbardzie: gatunek ten jest pospolity na całym archipelagu.

38. *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC. (Ryc. 23a)

Siedlisko: porost epilityczny, spotykany na kwaśnych skałach.

Zasięg: Arktyka i strefy umiarkowane obu półkul.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

39. *Rhizocarpon grande* (Flörke ex Flot.) Arnold

Siedlisko: gatunek epilityczny, rośnie na kwaśnych skałach, w eksponowanych miejscach.

Zasięg: cyrkumpolarny arktyczno-alpejski, występuje także w obszarze subarktycznym.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

40. *Sarcogyne privigna* (Ach.) A. Massal.

Siedlisko: gatunek epilityczny, najczęściej spotykany na granitach i piaskowcach, rzadziej na skałach zasadowych.

Zasięg: półkula północna (Europa, Ameryka Północna)

Występowanie na Svalbardzie: niezczęsty, podawany z wysp Danskøya i Nordaustlandet oraz rejonu Hinlopenstretet.

41. *Stereocaulon rivulorum* H. Magn.

Siedlisko: gatunek epigeiczny, rośnie na podłożu piaszczystym i żwirowym, pomiędzy mchami w wilgotnych zagłębieniach terenu, często w pobliżu płatów wiecznego śniegu lub strumieni.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

42. *Stereocaulon depressum* (Frey) I.M. Lamb

Siedlisko: gatunek naskalny.

Zasięg: Arktyka i obszary wysokich gór półkuli północnej.

Występowanie na Svalbardzie: znane są rozproszone stanowiska tego gatunku.

43. *Thelidium papulare* (Fr.) Arnold

Siedlisko: gatunek epilityczny, występuje zarówno na podłożu kwaśnym, jak i zasadowym.

Zasięg: rejony polarne i umiarkowane obu półkul.

Występowanie na Svalbardzie: dotychczas znanych kilka rozproszonych stanowisk.

44. *Thelidium pyrenophorum* (Ach.) Körb.

Siedlisko: gatunek epilityczny, spotykany na węglanowych skałach w suchych siedliskach.

Zasięg: rejony polarne i umiarkowane obu półkul.

Występowanie na Svalbardzie: dotychczas znane kilka rozproszonych stanowisk.

45. *Tremolecia atrata* (Ach.) Hertel

Siedlisko: gatunek epilityczny, występujący na kwaśnych skałach o wysokiej zawartości żelaza.

Zasięg: bipolarny.

Występowanie na Svalbardzie: jeden z najpospolitszych gatunków porostów na Svalbardzie.

46. *Umbilicaria arctica* (Ach.) Nyl.

Siedlisko: gatunek epilityczny, rośnie na kwaśnych skałach, ornitokoprofilny.

Zasięg: cyrkumpolarny arktyczno-alpejski.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

47. *Umbilicaria cylindrica*(L.) Delise

Siedlisko: gatunek epilityczny, spotykany na kwaśnych skałach.

Zasięg: na półkuli północnej arktyczno-alpejski, spotykany także na półkuli południowej.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

48. *Umbilicaria decussata* (Vill.) Zahlbr.

Siedlisko: gatunek epilityczny, występuje na różnych rodzajach skał.

Zasięg: gatunek o bardzo szerokim zasięgu światowym, kosmopolityczny.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

49. *Umbilicaria hyperborea*(Ach.) Hoffm.

Siedlisko: gatunek epilityczny, występuje na kwaśnych skałach.

Zasięg: gatunek kosmopolityczny.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

50. *Umbilicaria torrefacta* (Lightf.) Schrad.

Siedlisko: gatunek epilityczny, spotykany na kwaśnych skałach w eksponowanych miejscach.

Zasięg: cyrkumpolarny, arktyczno-alpejski

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.

51. *Verrucaria acrotella* Ach.

Siedlisko: gatunek epilityczny, preferuje suche siedliska oraz skały kwaśne do lekko zasadowych, oprócz czystych wapieni.

Zasięg: półkula północna.

Występowanie na Svalbardzie: autorzy nie są zgodni co do frekwencji tego gatunku na Svalbardzie; podawany jest przez różnych autorów jako rozpowszechniony bądź obecny na rozproszonych stanowiskach.

52. *Verrucaria deversa* Vain.

Siedlisko: gatunek epilityczny, preferujący skały zasadowe.

Zasięg: cyrkumpolarny arktyczny.

Występowanie na Svalbardzie: dotychczas podawany z Bjørnøya.

53. *Verrucaria obsoleta* Lynge

Siedlisko: gatunek epilityczny, występuje na piaskowcach, w suchych miejscach.

Zasięg: Europa, Ameryka Północna.

Występowanie na Svalbardzie: częsty, spotykany na całym Svalbardzie.

54. *Xanthoria elegans* (Link) Th. Fr. (Ryc. 23b)

Siedlisko: gatunek najczęściej epilityczny, na wapiennych skałach, spotykany również na kościach, ornitokopfilny.

Zasięg: gatunek ten występuje w strefach polarnych i umiarkowanych obu półkul.

Występowanie na Svalbardzie: pospolity na całym archipelagu.



Ryc. 23. Wybrane gatunki porostów występujących na przedpolach Gåsbeen i Longyearbreen; (a) *Rhizocarpon geographicum*, (b) *Xanthoria elegans*, (c) *Cladonia mitis*.

Foto: Michał Węgrzyn

4.2. Gåsbreen

W obrębie strefy marginalnej lodowca Gåsbreen zanotowano 17 gatunków roślin naczyniowych, 13 gatunków mszaków oraz 18 gatunków porostów (Tab. 2).

Tabela 2. Rośliny naczyniowe, mszaki i porosty zanotowane na przedpolu Gåsbreen.

Gatunki obecne na transekcie wyróżniono pogrubioną czcionką.

Rośliny naczyniowe:	Gatunek	Rodzina	Maksymalna ilościowość
	<i>Carex lachenalii</i> Schkuhr.	<i>Cyperaceae</i>	+
	<i>Cerastium arcticum</i> Lange coll.	<i>Caryophyllaceae</i>	2
	<i>Cerastium regelli</i> Ostenf.	<i>Caryophyllaceae</i>	1
	<i>Cochlearia groenlandica</i> L. coll.	<i>Brassicaceae</i>	+
	<i>Deschampsia alpina</i> (L.) Roem, Schultes	<i>Poaceae</i>	+
	<i>Draba alpina</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	} 2
	<i>Draba oxycarpa</i> Sommerf.	<i>Brassicaceae</i>	
	<i>Micranthes nivalis</i> L.	<i>Saxifragaceae</i>	r
	<i>Poa alpina</i> L. var. <i>vivipara</i> L.	<i>Poaceae</i>	+
	<i>Puccinellia vahliana</i> (Liebm.) Scribn., Merr.	<i>Poaceae</i>	1
	<i>Sagina nivalis</i> (Lindbl.) Fr.	<i>Caryophyllaceae</i>	+
	<i>Salix polaris</i> Wahlenb.	<i>Salicaceae</i>	+
	<i>Saxifraga cernua</i> L.	<i>Saxifragaceae</i>	1
	<i>Saxifraga cespitosa</i> L. ssp. <i>cespitosa</i>	<i>Saxifragaceae</i>	1
	<i>Saxifraga oppositifolia</i> L. ssp. <i>oppositifolia</i>	<i>Saxifragaceae</i>	2
	<i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq.	<i>Caryophyllaceae</i>	+
	<i>Silene uralensis</i> (Rupr.) Bocquet ssp. <i>arctica</i> (Th.Fr.) Bocquet	<i>Caryophyllaceae</i>	r
Mszaki:	Gatunek	Rodzina	Maksymalna ilościowość
	<i>Andreaea blyttii</i> Schimp.	<i>Andreaeaceae</i>	1
	<i>Brachythecium turgidum</i> (Hartm.) Kindb.	<i>Brachytheciaceae</i>	+

<i>Bryum calophyllum</i> R.Br.	<i>Bryaceae</i>	+
<i>Bryum pseudotriquetrum</i> (Hedw.) P. Gaertn. i in.	<i>Bryaceae</i>	+
<i>Cephaloziella varians</i> (Gottsche) Steph. = <i>Cephaloziella arctica</i> Bryhn, Douin	<i>Cephaloziellaceae</i>	+
<i>Distichum inclinatum</i> (Hedw.) Bruch, Schimp.	<i>Ditrichaceae</i>	+
<i>Hypnum bambergeri</i> Schimp.	<i>Hypnaceae</i>	+
<i>Niphotrichum canescens</i> (Hedw.) Bednarek-Ochyra, Ochyra = <i>Racomitrium canescens</i> (Hedw.) Brid.	<i>Grimmiaceae</i>	+
<i>Pogonatum urnigerum</i> (Hedw.) P. Beauv.	<i>Polytrichaceae</i>	+
<i>Pohlia annotina</i> (Hedw.) Lindb.	<i>Mielichhoferiaceae</i>	r
<i>Pohlia cruda</i> (Hedw.) Lindb.	<i>Mielichhoferiaceae</i>	r
<i>Racomitrium lanuginosum</i> (Hedw.) Brid.	<i>Grimmiaceae</i>	1
<i>Sanionia uncinata</i> (Hedw.) Loeske	<i>Amblystegiaceae</i>	1

Porosty:	Gatunek	Maksymalna ilościowość
	<i>Aspicilia aquatica</i> Körb.	r
	<i>Aspicilia disserpens</i> (Zahlbr.) Räsänen	+
	<i>Carbonea vorticosa</i> (Flörke) Hertel	r
	<i>Eiglera flavida</i> (Hepp) Hafellner	+
	<i>Lecanora polytropa</i> (Ehrh.) Rabenh.	+
	<i>Lecidea plana</i> (J. Lahm) Nyl.	r
	<i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Hampe ex Fürnr.	+
	<i>Polyblastia cupularis</i> A. Massal.	}
	<i>Polyblastia hyperborea</i> Th. Fr.	
	<i>Polyblastia theleodes</i> (Sommerf.) Th. Fr.	
	<i>Protoblastenia rupestris</i> (Scop.) J. Steiner	r
	<i>Protopannaria pezizoides</i> (Weber ex F.H. Wigg.) P.M. Jørg., S. Ekman	2
	<i>Protothelenella sphincrinoides</i> (Nyl.) H. Mayrhofer, Poelt	+

<i>Stereocaulon depressum</i> (Frey) I.M. Lamb	+
<i>Rhizocarpon geminatum</i> Körb.	r
<i>Thelidium papulare</i> (Fr.) Arnold	r
<i>Xanthoria elegans</i> (Link) Th. Fr.	+

4.2.1. Kolonizacja i sukcesja na transekcje

Jako pierwsze na transekcji pojawiły się rośliny naczyniowestanowiące zarazem przeważającą grupą organizmów. Znotowano je na niemal połowie stanowisk (48,1%) (Ryc. 36), osiągały również najwyższy stopień pokrycia, miejscami dochodzący do 20% (Ryc. 24). Zarówno pod względem frekwencji, jak i stopnia pokrycia, dominującym gatunkiem okazała się *Saxifraga oppositifolia*. Gatunek ten był obecny na 32,7% stanowisk transektu (Ryc. 26) i osiągał do 10% pokrycia (Ryc. 25 i 28). Procentowe pokrycie do 10% osiągnęły, na pojedynczych stanowiskach, również *Cerastium arcticum* i *Draba alpina* compl. (Ryc. 25). Poza *Saxifraga oppositifolia* trzy gatunki przekroczyły frekwencję 10%: *Cerastium arcticum* (obecne na 12,9% stanowisk), *Saxifraga cespitosa* (12,7% stanowisk) i *Sagina nivalis* (10,8% stanowisk) (Ryc. 26).

Kolejną pod względem frekwencji grupą były porosty, obecne na 10,3% stanowisk, najmniej liczną grupą okazały się natomiast mszaki, notowane na 6,95% stanowisk (Ryc. 36). Stopień pokrycia zarówno mszaków, jak porostów nie przekraczał 5% (Ryc. 24). Spośród mszaków jedynie *Andreaea blyttii* osiągała pokrycie do 5%. Maksymalne pokrycie wśród poszczególnych gatunków porostów zanotowanych na transekcji nie sięgało 1% (ilościowość „+” wg skali Braun-Blanqueta) (Tab. 2).

Spośród stanowisk, na których obecne były rośliny naczyniowe, największy udział miały te z jednym gatunkiem (16,2% stanowisk). Niemal tak samo liczne były stanowiska, na których obecne były dwa różne gatunki roślin (14,1% stanowisk). Najwyższą liczbę gatunków, sześć, zanotowano na jednym tylko stanowisku. Najczęściej na jednym stanowisku notowano jeden gatunek mchu, zdarzały się również stanowiska z dwoma bądź trzema różnymi gatunkami. W przypadku porostów pierwsze stanowiska, na których je notowano, były ubogie w gatunki (1-2), natomiast w najstarszej części transektu liczba gatunków notowana z pojedynczych stanowisk wzrastała do ok. 10.

4.2.1.1. Stadium 0 (0-425 m)

Początkowy fragment transektu, biegnący przez najmłodszą część strefy marginalnej, w większości odsłoniętą spod lodu po 1983 roku, pozbawiony był roślinności. W obrębie tego odcinka występowały duże rzeki proglacjalne, zwłaszcza w pobliżu czoła lodowca. Zaznaczały się także koryta okresowych cieków wodnych, prawdopodobnie aktywnych tylko w czasie wiosennych roztopów. Obniżenia terenu wypełnione były mulistym materiałem. Pomędzy nimi teren był płaski bądź uformowany w niewielkie wzniesienia o wysokości względnej nie dochodzącej do dwóch metrów, zbudowane ze żwiru.

4.2.1.2. Stadium I (426-649 m)

Pierwsze stadium sukcesji charakteryzowało się pojawieniem się na stosunkowo krótkim odcinku (ok. 100 metrów) aż dziewięciu gatunków roślin naczyniowych. W tym stadium brak było porostów, a stopień pokrycia sięgał najwyżej 5%. Początek tego stadium miał miejsce w odległości 426 m od początku transektu. Zaobserwowano tu pierwsze rośliny naczyniowe, *Carex lachenalii* i *Cochlearia groenlandica* (Ryc. 24). Miejsce to położone było około 50 metrów od granicy zasięgu Gåsbreen w roku 1983 (Ryc. 24), zostało więc prawdopodobnie odsłonięte spod lodu około 25 lat temu. Na odcinku następnych 20 m pojawiły się kolejno: *Poa alpina* var. *vivipara*, *Sagina nivalis*, *Saxifraga cernua*, *Saxifraga cespitosa* i *Cerastium regelli*, dołączając do dwóch pierwszych gatunków. *Sagina nivalis* jako jedyna roślina osiągała pokrycie do 1% (Ryc. 25). *Saxifraga oppositifolia* pojawiła się w odległości 504 m od początku transektu.

Niecałe 100 metrów dalej niż pierwsze rośliny zanotowano pierwsze gatunki mchów: *Bryum pseudotriquetrum* (519 m transektu) i *Brachythecium turgidum* (530 m transektu). Pojawienie się mchów wyznaczało drugą fazę omawianego stadium. Ich występowanie związane było z zagłębieniami terenu, wilgotniejszymi niż zbocza wzniesień. Niedługo po pierwszych mchach zanotowano kolejny gatunek rośliny naczyniowej, *Cerastium arcticum* (539 m transektu). W drugiej fazie tego stadium zwiększyła się frekwencja i ilościowość *Saxifraga cespitosa*, której pokrycie na pojedynczych stanowiskach sięgało 5% (Ryc. 25). Tutaj także maksimum ilościowości osiągnęło *Cerastium regelli* (Ryc. 25).

Ukształtowanie terenu w pierwszym stadium sukcesji było zbliżone do tego w poprzednim etapie. Na tym odcinku niewielkie wzniesienia pojawiały się częściej, a w drugiej

fazie podłoże stało się bardziej pofałdowane, spotykano również mniej koryt cieków okresowych.

4.2.1.3. Stadium II (650-768 m)

Od około 650 metra transektu można wyznaczyć początek drugiego stadium sukcesji. Od tego miejsca stopień pokrycia roślin naczyniowych zaczął wzrastać, osiągając 10-12% (Ryc. 24). Pojawiły się również kolejne gatunki roślin: przedstawiciele kompleksu *Draba alpina* (*D. oxycarpa* i *D. alpina*) (Ryc. 24 i 25), a 755 metrów od początku transektu zaobserwowano *Salix polaris* (Ryc. 24 i 25). Miejscami występowały też mchy z rodzaju *Bryum*. Na tym etapie dominowały gatunki z rodzaju *Saxifraga*, osiągając do 5% pokrycia. Dwa z nich, *S. cespitosa* i *S. cernua*, osiągnęły w tym stadium maksimum frekwencji i obfitości występowania (Ryc. 25). Zwiększyła się również frekwencja występowania *Cerastium arcticum*, natomiast *Carex lachenalii* i *Poa alpina* var. *vivipara* pojawiały się rzadziej, niż w pierwszym stadium (Ryc. 25). Rzeźba terenu zbliżona była do tej w pierwszym stadium.

4.2.1.4. Stadium III (769-1041 m)

Pierwsze porosty pojawiły się 769 metrów od początku transektu. Były to *Polyblastia cupularis* i *Protoblastenia rupestris*, epilityczne gatunki skorupiaste (Ryc. 24). Moment pierwszego pojawienia się porostów uznano za początek trzeciego stadium sukcesji. Nieco później niż *P. cupularis* i *P. rupestris* zanotowano pierwsze stanowiska roślin naczyniowych: *Puccinellia vahliana*, *Micranthes nivalis* oraz mchu *Hypnum bambaergeri* (Ryc. 24). W tym stadium sukcesji swoje maksimum osiągnęły: *Saxifraga oppositifolia*, *Cerastium arcticum*, *Puccinellia vahliana* oraz *Draba alpina* compl. (Ryc. 25).

Równocześnie w drugiej fazie stadium III zaobserwowano wycofywanie się niektórych roślin obecnych od pierwszego stadium sukcesji. *Carex lachenalii* ostatni raz zanotowano 943 m od początku transektu, a ostatnie stanowisko *Cochlearia groenlandica* znajdowało się 1004 m od początku transektu. *Sagina nivalis* oraz *Poa alpina* var. *vivipara* zmniejszyły pod koniec tego odcinka swoją frekwencję. W końcowej części odcinka, 1033 m od początku transektu, pojawiło się *Silene acaulis*. Druga faza omawianego stadium sukcesji cechuje się najwyższym ogólnym stopniem pokrycia, dochodzącym do 20% (Ryc. 24) oraz największym bogactwem gatunkowym roślin naczyniowych (Ryc. 25). Udział porostów był,

podobnie jak w poprzednim stadium, minimalny, natomiast pokrycie mszaków w końcowym odcinku dochodziło do 5% (Ryc. 24).

Ukształtowanie terenu w tym stadium sukcesji różniło się znacznie od poprzednich etapów. Dominującą formą były tu wały morenowe o zboczach nachylonych pod kątem 10-20 stopni, a miejscami ok. 30 stopni. Przewyższenia przekraczały 20 metrów. Obserwowana wilgotność podłoża była mniejsza, niż w poprzednich etapach, co wynikało ze stopnia nachylenia zboczy.

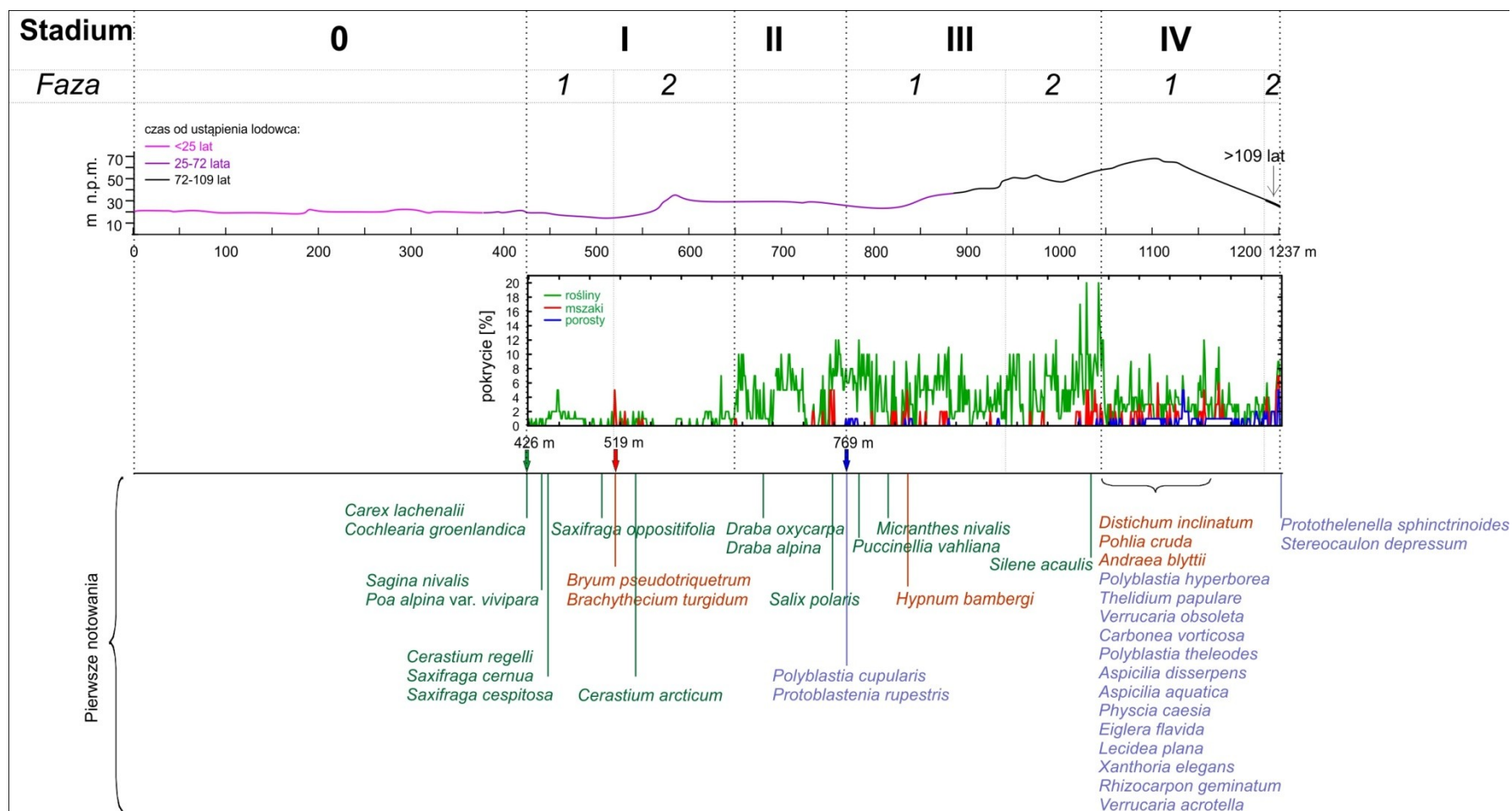
4.2.1.5. Stadium IV (1042-1237 m)

Początek ostatniego stadium sukcesji to szczytowa partia najwyższego na transekcie wału morenowego. Na tym odcinku całkowite pokrycie roślin naczyniowych przekraczało miejscami 10% (Ryc. 24), jednak bogactwo gatunkowe spadło znacznie w porównaniu z poprzednimi etapami (Ryc. 25). Jedynie *Saxifraga oppositifolia* miała na tym odcinku wysoką frekwencję. Towarzyszące jej gatunki: *Saxifraga cernua*, *S. cespitosa*, *Cerastium arcticum* i *C. regelli*, *Carex lachenalii* oraz *Puccinellia vahliana* notowane były na pojedynczych stanowiskach (Ryc. 25). Na tym odcinku zanotowano natomiast kolejne gatunki mchów: *Distichum inclinatum*, *Pohlia cruda* oraz *Andreaea blyttii*. Ten ostatni gatunek rósł zazwyczaj w towarzystwie *Saxifraga oppositifolia* i był dominującym mchem w tym stadium sukcesji. Zaobserwowano również gwałtowny wzrost liczby gatunków porostów naskalnych oraz frekwencji ich występowania i stopnia pokrycia, który na pojedynczych stanowiskach dochodził do ok. 5% (Ryc. 24). Do niewielkich porostów z rodzajów *Polyblastia*, *Thelidium* i *Verrucaria*, dołączyły gatunki o większych plechach: *Aspicilia aquatica*, *A. disserpens*, *Physcia caesia*, *Rhizocarpon geminatum*, *Xanthoria elegans*. Bogactwo gatunkowe porostów naskalnych dochodziło do około 10 gatunków na stanowisku. Liczne były niewielkie, młodociane okazy, zwłaszcza z rodzaju *Aspicilia*.

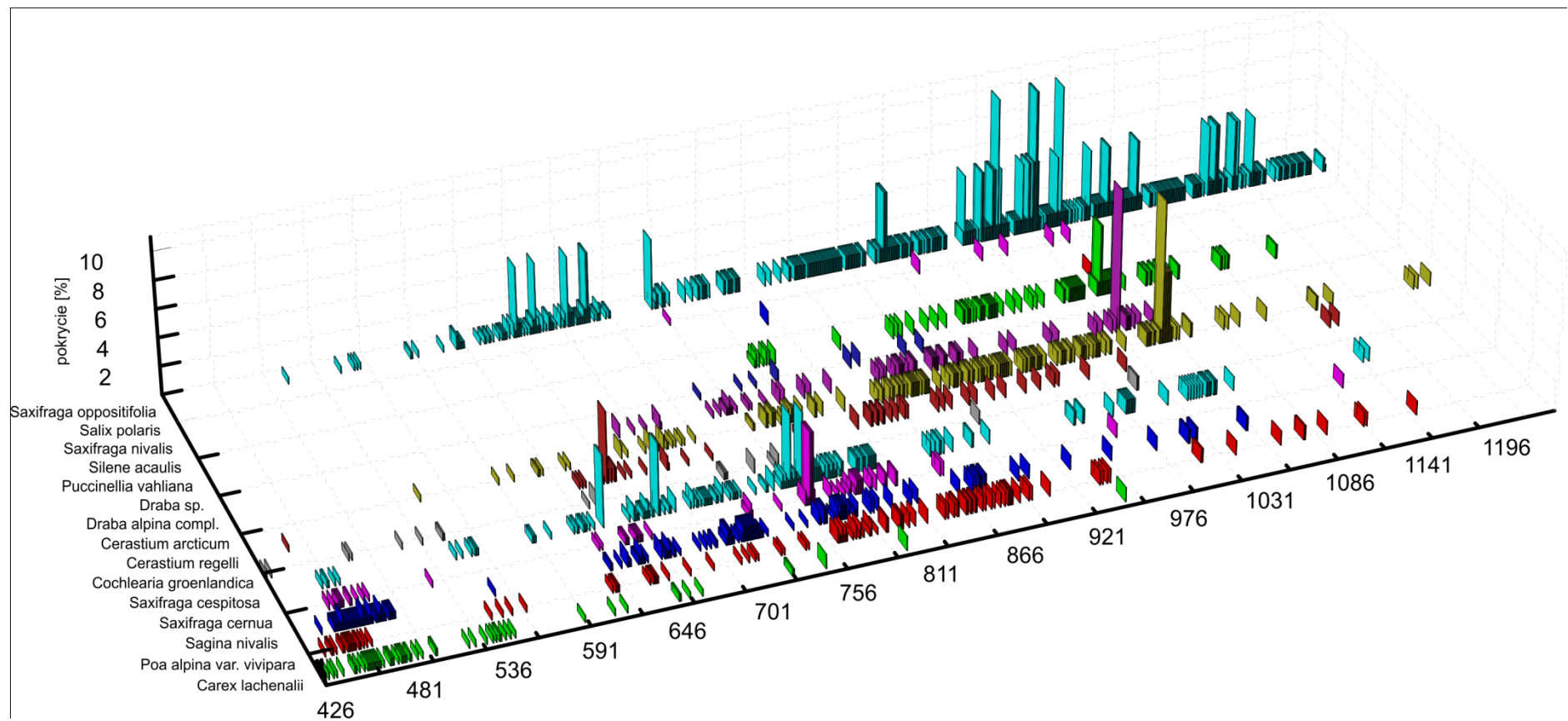
Szczyt wału morenowego tworzył materiał skalny o dużej stabilności. Północne zbocza moreny, o nachyleniu dochodzącym do 40 stopni, były natomiast słabo ustabilizowane.

Końcowy odcinek transektu, w dolnej części zbocza moreny, wyróżnia się obecnością dwóch gatunków porostów: krzaczkowatego *Stereocaulon depressum* oraz naziemnego gatunku *Protothelenella sphinctrinoides*. Odcinek ten mógł być częścią przedpola lodowca

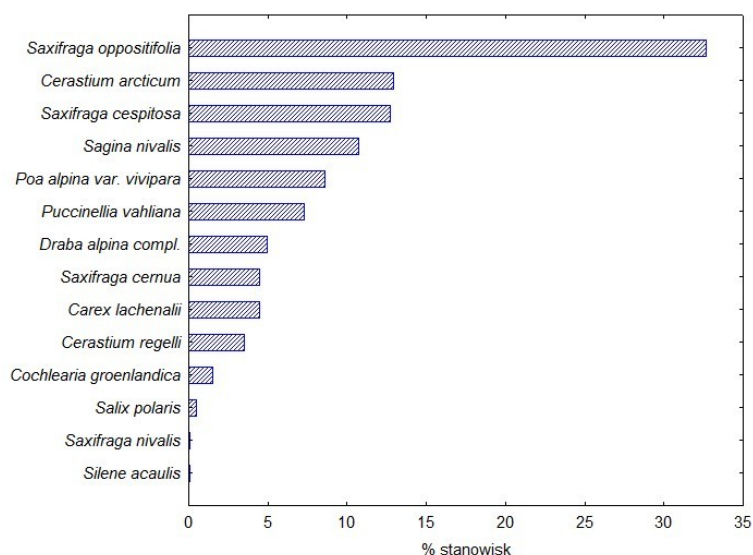
Gåsbreen podczas Małej Epoki Lodowej. Został on więc wyszczególniony jako osobna faza, mimo jego niewielkiej długości.



Ryc. 24. Fazy i stadia sukcesji, ukształtowanie terenu i wiek podłoża, pokrycie procentowe roślin naczyniowych, mszaków i porostów oraz pierwsze notowania poszczególnych gatunków wzdłuż transektu na przedpolu Gåsreen. Strzałkami zaznaczono pierwsze notowania roślin naczyniowych, mszaków i porostów.



Ryc. 25. Maksymalne pokrycie procentowe poszczególnych gatunków roślin naczyniowych wzdłuż transektu na przedpolu Gåsbeen.



Ryc. 26. Frekwencja występowania poszczególnych gatunków roślin naczyniowych wzdłuż transektu na przedpolu Gåsbeen.

4.2.2. Kolonizacja w pozostałych częściach strefy marginalnej

W celu uzyskania pełniejszych danych, poza prowadzeniem szczegółowych obserwacji roślinności wzdłuż transektu, zwracano uwagę także na miejsca poza nim. Na stanowisku 1, zlokalizowanym na zboczu grzbietu Wurmbrandegga w najstarszej części strefy marginalnej Gåsbeen, (Ryc. 18), ogólne pokrycie wynosiło 40%. Z roślin naczyniowych występowały tam *Cerastium arcticum* oraz *Saxifraga cernua*, *S. cespitosa* i *S. oppositifolia*. Naziemne porosty *Protopannaria pezizoides* oraz *Stereocaulon depressum* pokrywały około 20% powierzchni. Na stanowisku tym zaobserwowano również liczne gatunki mchów: *Racomitrium lanuginosum*, *Pogonatum urnigenum*, *Niphotrichum cansesens*, *Pohlia annotina* i *Sanionia uncinata*, a także wątrobowiec *Cephaloziella varians*. Pokrycie mszaków wynosiło około 10%. Niżej na stoku (stanowiska 2 i 3) nie zaobserwowano roślinności, co było spowodowane najprawdopodobniej niestabilnością podłoża, gdyż nachylenie tego zbocza sięgało 45 stopni. Na stanowisku 7, zlokalizowanym na morenie dennej, w miejscu odsłoniętym spod lodu po roku 1990, pokrycie całkowite wynosiło ok. 2%. Znotowano tam *Saxifraga cespitosa* oraz mchy *Bryum calophyllum* i *B. pseudotriquetrum*.

Na terenie dna dawnego jeziora zaporowego Goesvatnet, które zniknęło po przerwaniu bariery lodowej między rokiem 2000 a 2005, brak było zwartej pokrywy roślinnej. Zaobserwowano natomiast pojedyncze osobniki ośmiu gatunków roślin naczyniowych. Były to trawy *Deschampsia alpina* (stanowisko 9) i *Poa alpina var. vivipara* (stanowiska 9 i 13)

oraz turzyca *Carex lachenalii* (stanowisko 9), a także *Saxifraga cernua* (stanowiska 10, 11, 12), *S. cespitosa* (stanowiska 11, 12) i *S. oppositifolia* (stanowiska 10, 11, 12), *Cerastium arcticum* (stanowisko 11) i *C. regelli* (stanowisko 9). Okazy tych roślin były niewielkie. Jeśli chodzi o mszaki, jedyny okaz, należący do *Pohlia annotina*, zanotowano na stanowisku 13. Na stanowisku 15 zanotowano z kolei na kamieniach niewielkie okazy *Polyblastia cupularis* i *Thelidium papulare*. W ich przypadku nie ma jednak pewności, czy te porosty wraz z podłożem nie zostały mechanicznie przemieszczone z pobliskich zboczy. Transport taki mógł zachodzić na przykład wraz z wodą spływającą podczas roztopów.

Na stanowiskach zlokalizowanych w pobliżu najstarszych wałów morenowych, lecz już poza strefą marginalną Gåsbreen, zanotowano szereg gatunków nieodnalezionych na ani na transekcje, ani na stanowiskach poza nim (Tab. 3). Wysoce prawdopodobna wydaje się obecność tych organizmów przynajmniej w starszej części strefy marginalnej. Możliwe jest również, że pojawiają się one w toku sukcesji w kolejnych latach.

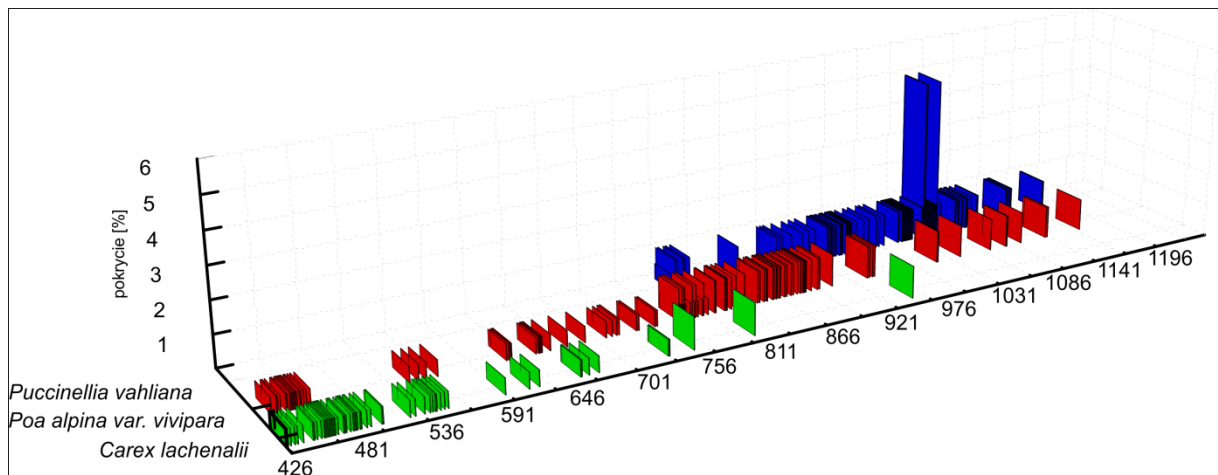
Tabela 3. Gatunki roślin naczyniowych, mszaków i porostów zanotowanych w bezpośrednim sąsiedztwie strefy marginalnej lodowca Gåsbreen.

	Rośliny naczyniowe: <i>Papaver dahlianum</i> Nordh. (<i>Papaveraceae</i>)
	<i>Bistorta vivipara</i> (L.) S. F. Gray Engl. (<i>Polygonaceae</i>)
Porosty:	<i>Candelariella vitellina</i> (Ehrh.) Müll. Arg.
	<i>Lecidea lapicida</i> (Ach.) Ach.
	<i>Thelidium pyrenophorum</i> (Ach.) Körb.
	<i>Lecanora polytropa</i> (Ehrh.) Rabenh.

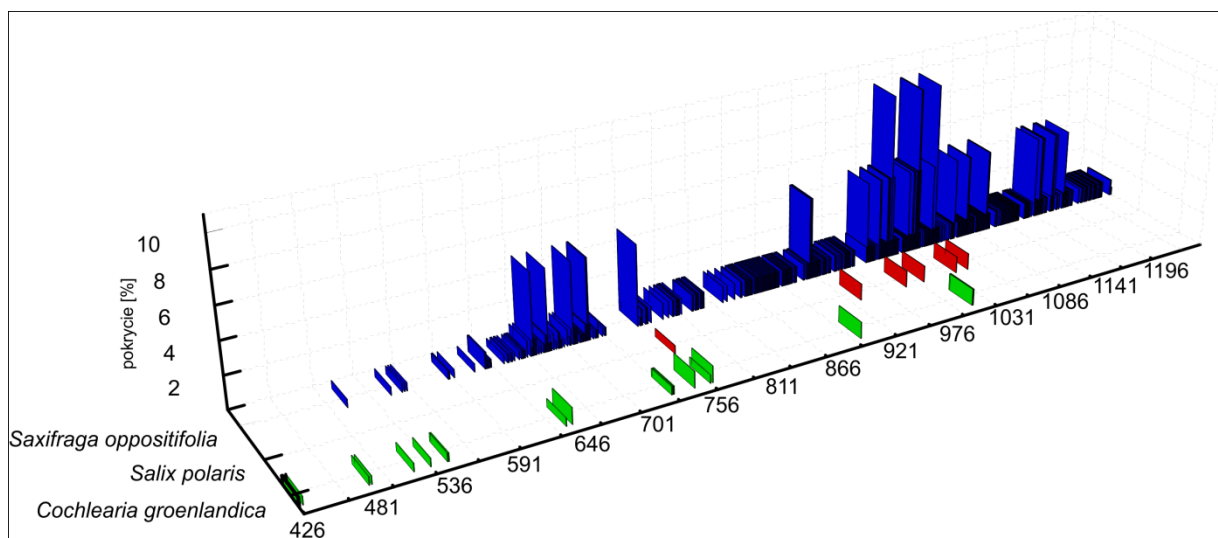
4.2.3. Wcześni i późni kolonizatorzy

Na podstawie analizy rozmieszczenia, frekwencji i obfitości poszczególnych gatunków wzdłuż transektu oraz poza nim, wyznaczono następujące grupy organizmów:

- 1) wczesni kolonizatorzy – gatunki, które rozpoczynają proces kolonizacji, pojawiając się jako pierwsze na odsłoniętym podłożu. Wśród wczesnych kolonizatorów można wyróżnić:
 - a) gatunki pojawiające się w pierwszym stadium sukcesji i zanikające w późniejszych etapach. Należą do nich *Carex lachenalii* (Ryc. 25 i 27) i *Cochlearia groenlandica* (Ryc. 25 i 28), jako pierwsze zanotowane na transekcje, oraz *Deschampsia alpina*, zanotowana na stanowisku 9.
 - b) gatunki pojawiające się w pierwszym stadium sukcesji, które choć nie zanikły w kolejnych stadiach, maksimum występowania osiągnęły wcześniej na przebiegu transektu. Do tej grupy zaliczają się: *Saxifraga cespitosa*, *S. cernua*, *Sagina nivalis* (Ryc. 25), *Poa alpina* var. *vivipara* (Ryc. 25 i 27) oraz *Cerastium regelli* (Ryc. 25).
 - c) do wczesnych kolonizatorów można zaliczyć również mchy *Bryum pseudotriquetrum* i *Brachythecium turgidum*, będące pierwszymi mszakami zanotowanymi na transekcje (Ryc. 24), oraz *Pohlia annotina*, zanotowaną na stanowisku 13 (Ryc. 18).
- 2) obecne na przeważającej części transektu gatunki, które pojawiły się w pierwszym stadium sukcesji, a maksimum występowania osiągnęły dopiero w ostatnim stadium sukcesji. Są to *Saxifraga oppositifolia* (Ryc. 28) oraz *Cerastium arcticum* (Ryc. 25), które dominowały na transekcje pod względem obfitości (Ryc. 25) i frekwencji (Ryc. 26).
- 3) grupa „pośrednia” – rośliny, które pojawiły się po raz pierwszy w drugim stadium sukcesji. Są to gatunki z rodzaju *Draba* (Ryc. 25) oraz *Salix polaris* (Ryc. 25 i 28).
- 4) późni kolonizatorzy – gatunki, które pojawiały się po raz pierwszy w znacznej odległości od początku transektu, w trzecim lub czwartym stadium sukcesji. Do grupy tej należą:
 - a) *Puccinellia vahliana* (Ryc. 25 i 27), *Micranthes nivalis* i *Silene acaulis* (Ryc. 25);
 - b) wszystkie gatunki porostów (Ryc. 24).



Ryc. 27. Maksymalne pokrycie procentowe *Puccinellia vahliana*, *Poa alpina* var. *vivipara* i *Carex lachenalii* wzdłuż transektu na przedpolu Gåsbeen.

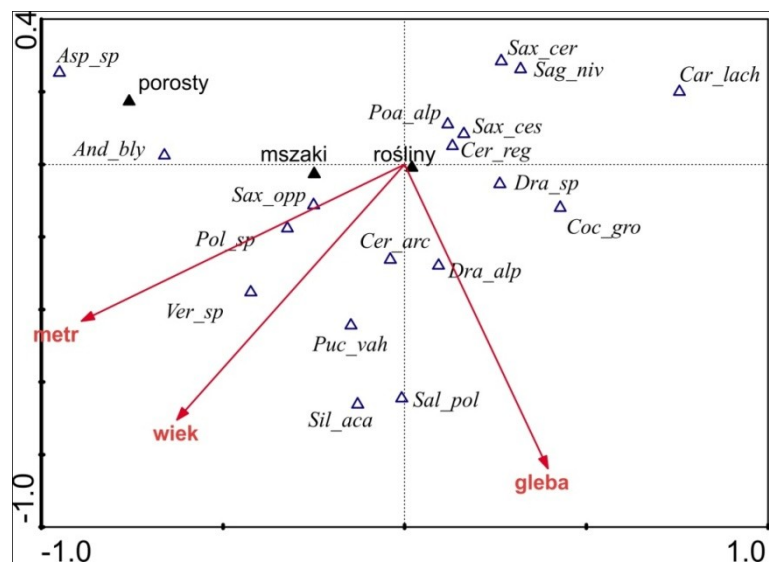


Ryc. 28. maksymalne pokrycie procentowe *Saxifraga oppositifolia*, *Salix polaris* i *Cochlearia groenlandica* wzdłuż transektu na przedpolu Gåsbeen.

4.2.4. Czynniki abiotyczne wpływające na sukcesję

W skali całego transektu czynnikami, które najpełniej różnicowały rozmieszczenie i ilościowość poszczególnych gatunków okazały się, zgodnie z wcześniejszymi przewidywaniami, odległość od początku transektu i przedziały wiekowe podłoża (Ryc. 29). Wartości korelacji rang Spearmana dla tych dwóch zmiennych wskazują na ich silny związek z występowaniem i ilościowością mszaków i porostów, a także większości gatunków roślin naczyniowych (p. Uzupełnienie).

W wyniku kanonicznej analizy zgodności wyraźnie dało się wyróżnić grupę wczesnych kolonizatorów, zawierającą gatunki pojawiające się w pierwszym stadium sukcesji, a także gatunki, które pojawiały się lub uzyskiwały maksimum występowania w późniejszych stadiach (Ryc. 29). Duże znaczenie miał również udział droбноziarnistego materiału w podłożu (Ryc. 29). Wyniki testu permutacyjnego potwierdziły statystyczną istotność odległości od początku transektu ($F=46,11$; $p<0,05$) i zawartości droбноziarnistego materiału ($F=20,56$; $p<0,05$). Zmienna „wiek”, oznaczająca przedziały wiekowe podłoża (25-72 lata i >72 lata, Ryc. 29), okazała się nieistotna statystycznie. Stopień nachylenia i ekspozycja stoków również nie miały istotnego udziału w wyjaśnieniu rozmieszczenia roślinności, ta część roboczej hipotezy nie została potwierdzona.



Ryc. 29. Porządkowanie gatunków roślin naczyniowych oraz wybranych gatunków mszaków i porostów występujących na transekcji na przedpolu Gåsbreen, a także zbiorczego stopnia pokrycia roślin naczyniowych, mszaków i porostów, wzdłuż pierwszej i drugiej osi kanonicznej analizy zgodności (CCA). Czynniki abiotyczne: „metr” – odległość od początku transektu, „wiek” – kategorie względnego wieku podłoża: młodsza odsłonięta spod lodu między 1936 a 1983 oraz starsza odsłonięta wcześniej, niż w 1936 roku; „gleba” – procentowa zawartość droбноziarnistego materiału w podłożu.

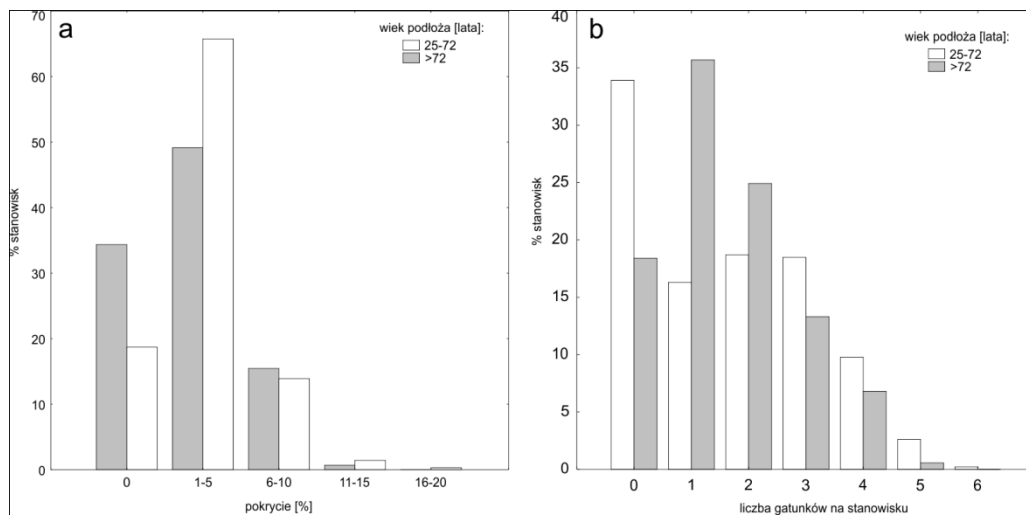
4.2.4.1. Odległość od początku transektu i wiek podłoża

Odległość na transekcje i względny wiek podłoża miały znaczący wpływ na roślinność wzdłuż transektu (Ryc. 29). Najmłodsza część transektu, odsłonięta po roku 1983 (Ryc. 18), pozbawiona była roślinności. Kolejne dwie strefy wyróżnione w oparciu o mapy zasięgu Gåsbreen, młodsza odsłonięta spod lodu między 1936 a 1983 oraz starsza odsłonięta przed 1936 rokiem, różniły się znacznie.

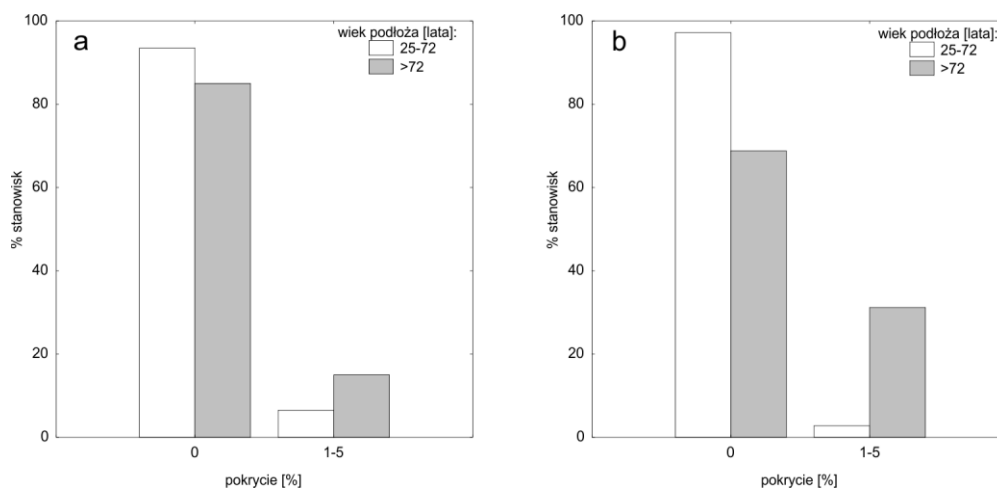
W obrębie strefy młodszej wszystkie gatunki roślin naczyniowych, z wyjątkiem *Silene acaulis*, a także trzy z sześciu gatunków mchów miały swoje pierwsze stanowiska (Ryc. 24). Zdecydowana większość gatunków porostów, w tym naziemne, pojawiła się natomiast dopiero w starszej części transektu (Ryc. 24). Zarówno w starszej, jak i w młodszej części transektu największy udział miały stanowiska o niewielkim pokryciu roślin naczyniowych (1-5%) (Ryc. 30a). W starszej części liczba stanowisk pozbawionych roślin jest jednak istotnie ($p < 0,001$) mniejsza, niż w młodszej. W starszej części zanotowano również stanowiska o najwyższym stopniu pokrycia (do 20%). Pokrycie mchów (Ryc. 31a) i porostów (Ryc. 31b) osiągało na całym transekcje dużo niższe wartości, niż w przypadku roślin naczyniowych (do 5%). Udział stanowisk pozbawionych mchów i pozbawionych porostów w starszej części transektu był znacząco niższy, niż w młodszej ($p < 0,001$ w obu przypadkach). Różnica była większa w przypadku porostów (Ryc. 31).

Widoczne są również różnice w bogactwie gatunkowym roślin naczyniowych (Ryc. 30b). W obrębie młodszej części transektu największą część stanowiły stanowiska pozbawione roślin (33,9% stanowisk), natomiast w starszej części stanowiska z jednym (35,7% stanowisk) i dwoma gatunkami (24,9% stanowisk). Z drugiej strony, to w młodszej części znajdowało się stanowisko najbogatsze w gatunki roślin naczyniowych. Różnice między młodszą a starszą strefą były istotne statystycznie w przypadku stanowisk pozbawionych roślin oraz stanowisk z 1 gatunkiem ($p < 0,001$), a także w przypadku stanowisk z 2, 3 i 5 gatunkami ($p < 0,05$).

W młodszej części transektu bogactwo gatunkowe porostów było niewielkie (1-2 gatunki na stanowisku), w starszej natomiast, zwłaszcza w jej końcowej części na północnych zboczach najwyższych wałów morenowych (Ryc. 18), wartość ta wzrosła do około 10 gatunków na stanowisku.



Ryc.30. Porównanie frekwencji stanowisk (a) o różnym stopniu pokrycia przez rośliny naczyniowe oraz (b) o poszczególnej liczbie gatunków roślin naczyniowych na odcinkach transektu w strefie marginalnej Gåsbeen w wieku 25-72 i ponad 72 lata. Brano pod uwagę część transektu od momentu pojawienia się pierwszych roślin.



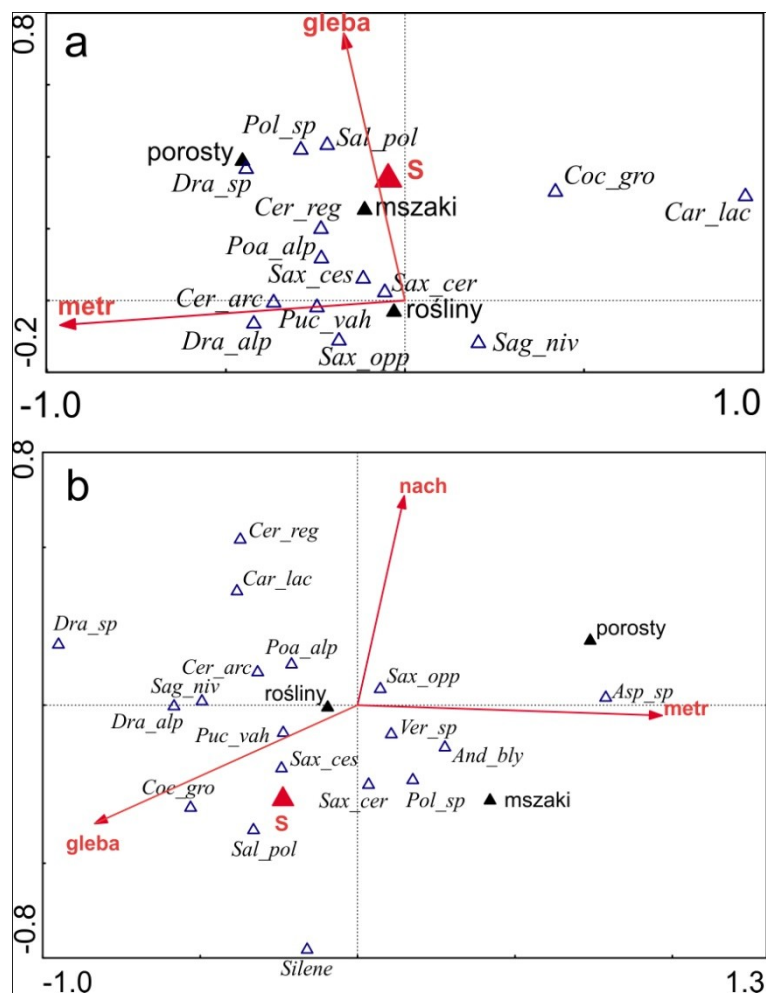
Ryc. 31. Porównanie frekwencji stanowisk o różnym stopniu pokrycia przez (a) mszaki oraz (b) porosty na odcinkach transektu w strefie marginalnej Gåsbeen w wieku 25-72 i ponad 72 lata. Brano pod uwagę część transektu od momentu pojawienia się pierwszych roślin.

W związku ze znacznymi różnicami w ukształtowaniu terenu w młodszej i starszej części transektu, wykonano analizę CCA osobno dla każdej z nich, w celu wyodrębnienia różnic w znaczeniu poszczególnych czynników abiotycznych między strefami. W młodszej

strefie, o względnym wieku 25-72 lata (Ryc. 18 i 24), głównymi czynnikami kształtującymi roślinność okazały się odległość od początku transektu, południowa ekspozycja zboczy oraz zawartość drobnoziarnistego materiału w podłożu (Ryc. 32a). Jedynie odległość od początku transektu była statystycznie istotna (Tab. 4). W strefie starszej, o względnym wieku podłoża ponad 72 lata, do czynników działających w młodszej strefie dołączył stopień nachylenia podłoża (Ryc. 32b). Wszystkie czynniki z wyjątkiem ekspozycji południowej były statystycznie istotne (Tab. 4). Widoczna jest różnica w wielkości gradientów zmiennych, które są większe w analizie strefy starszej (Ryc. 32).

Tabela 4. Wartości F testu permutacyjnego Monte Carlo (n=499 permutacji) dla zmiennych uwzględnionych w analizie CCA młodszej i starszej części transektu. Zmienne: „metr” – odległość od początku transektu, „gleba” – procentowa zawartość drobnoziarnistego materiału w podłożu, „S” – ekspozycja z kierunków południowych. „nach” – stopień nachylenia podłoża. Wartości istotne statystycznie dla $p < 0,05$ zostały wytłuszczone.

	metr	gleba	S	nach
część młodsza	15,92	3,86	3,88	2
część starsza	39,33	5,49	3,33	5,36

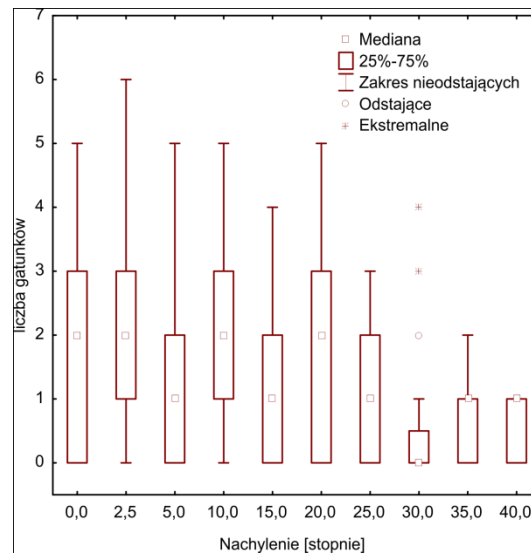


Ryc. 32. Porządkowanie gatunków roślin naczyniowych oraz wybranych gatunków mszaków i porostów występujących na transekcji na przedpolu Gåsbreen, a także zbiorczego stopnia pokrycia roślin naczyniowych, mszaków i porostów, wzdłuż pierwszej i drugiej osi kanonicznej analizy zgodności (CCA). (a) część transektu odsłonięta spod lodu w latach 1936-1983, (b) część transektu odsłonięta przed 1936 rokiem. Czynniki abiotyczne: „metr” – odległość od początku transektu, „gleba” – procentowa zawartość drobnoziarnistego materiału w podłożu, „nach” – stopień nachylenia podłoża, „S” – ekspozycja z kierunków południowych.

4.2.4.2. Ukształtowanie, ziarnistość i wilgotność podłoża

Nachylenie podłoża, z którym łączyła się jego stabilność, miało istotne znaczenie dla rozwoju roślinności. Było to widoczne zwłaszcza w starszej części transektu (Ryc. 32b), gdzie rzeźba terenu była zróżnicowana (Ryc. 18 i 24). Największym bogactwem gatunkowym roślin naczyniowych wyróżniały się stanowiska o niewielkim stopniu nachylenia, a wraz ze

wzrostem stromizny stoku różnorodność malała (Ryc.33). Większość gatunków roślin preferowała lekko nachylone stoki. Występowanie *Saxifraga cernua*, *Saxifraga cespitosa* i *Silene acaulis* w starszej części strefy marginalnej związane było silnie z płaskimi miejscami (Ryc. 32b). *Cerastium arcticum* oraz *Saxifraga oppositifolia* jako jedyne spotykane były na najbardziej stromych zboczach., a tylko *S. oppositifolia* występowała w tych warunkach obficie.



Ryc. 33. Zależność liczby gatunków roślin naczyniowych na stanowisku od stopnia nachylenia podłoża na transekcie na przedpolu Gåsbeen.

Udział drobnoziarnistego materiału w podłożu silnie różnicował występowanie poszczególnych grup organizmów wzdłuż transektu. Większość gatunków roślin naczyniowych, w tym *Cochlearia groenlandica* *Puccinellia vahliana*, *Saxifraga cespitosa* (Ryc. 32b) i *Draba alpina* (Ryc. 29) s. l. wyraźnie preferowała miejsca o drobnoziarnistym podłożu. *Saxifraga oppositifolia* natomiast wykazywała tendencję przeciwną, zwłaszcza w starszej części transektu (Ryc. 32b). Prawie wszystkie gatunki porostów znajdowane były na skałach i znalazło to odzwierciedlenie w wynikach analiz. Wśród mchów dominował pod względem ilościowości naskalny gatunek *Andraea blyttii*, który pojawił się pod koniec transektu. Z tego powodu zależność występowania mchów w ogólnej skali transektu (Ryc. 29) kształtowała się inaczej, niż w starszej części analizowanej osobno (Ryc. 32b).

Wilgotność podłoża nie była bezpośrednio mierzona, obserwowano natomiast jej związek z ukształtowaniem terenu. Dwie młodsze części transektu (Ryc. 18) były bardziej

wilgotne, niż najstarsza. Na całej długości transektu najbardziej wilgotnymi miejscami były niewielkie zagłębienia terenu wypełnione mułem. Widać było, że w miejscach tych śnieg zwykle zalegał dłużej, niż w eksponowanych stanowiskach na szczytach bądź zboczach wzniesień. Namuliska takie pozbawione były często jakiegokolwiek roślinności. Spotykano tam czasem niewielkie okazy mchów.

4.2.4.3. Właściwości chemiczne podłoża

Alkaliczny odczyn podłoża na przedpolu Gåsbreen (Tab. 5) determinował w pewnym stopniu skład gatunkowy roślinności. Wartość pH wykazywała niewielką tendencję malejącą wraz z odległością od początku transektu. Do kalcyfilnych gatunków roślin zanotowanych na transekcji można zaliczyć *Carex lachenalii* i *Puccinellia vahliana*, a także *Cochlearia groenlandica*, która preferuje siedliska ogólnie bogate w związki mineralne. Typowo kalcyfilne są również porosty *Physcia caesia*, *Polyblastia hyperboera*, *P. theleodes* i *Xanthoria elegans*. W materiale skalnym budującym wały morenowe znajdowały się również fragmenty skał niewapiennych, na których spotykano acydofilne gatunki porostów – *Carbonea vorticosa* i *Aspicilia aquatica*. Naskalny mech *Andreaea blyttii*, uważany za acydofilny, spotykany był głównie w najstarszej części transektu, gdzie pH było najniższe. Większość gatunków zanotowanych na transekcji oraz na pozostałych stanowiskach posiada szerokie spektra ekologiczne w zakresie warunków edaficznych.

W glebie z dna byłego jeziora zaporowego Goesvatnet koncentracja większości mierzonych pierwiastków była wyższa, niż w pozostałych miejscach strefy marginalnej. Największa była różnica zawartości fosforu (Tab. 5). Stosunkowo duża żyzność podłoża mogła stymulować rozwój roślin na tym obszarze mimo jego położenia blisko czoła lodowca.

Tabela 5. Średnie wartości pH i zawartość makroelementów i metali ciężkich [mg/kg] w warstwie powierzchniowej gleby w strefie marginalnej Gåsbreen (n=6 prób) i na terenie wyschniętego jeziora Goesvatnet (jedna próba).

	strefa marginalna	dno jeziora
pH (H ₂ O)	7,14±0,52	0,52
pH (KCl)	7,87±0,53	0,53
Na	1652,17±174,88	2664,5
Mg	18637,92±1793,09	19708

K	9036,25±2096,99	12085
Ca	174827,5±58236,52	87525
P	482,23±81,09	3438,3
Cr	20,61±5,54	29,03
Mn	126,91±39,9	172,2
Fe	8417,08±1929,61	16107,5
Ni	16,9±4,15	31,05
Cu	6,72±2,36	10,63
Zn	41,45±11,45	68,93
Pb	9,28±6,11	6,73
Cd	0,39±0,13	0,95

4.3. Longyearbreen

W strefie marginalnej Longyearbreen zanotowano 21 gatunków roślin naczyniowych, 13 gatunków mszaków (wszystkie reprezentowały gromadę *Bryopsida* - mchy) oraz 45 gatunków porostów (Tab. 6).

Tabela 6. Rośliny naczyniowe, mszaki i porosty zanotowane na przedpolu Longyearbreen. Gatunki obecne na transekcje wyróżniono pogrubioną czcionką.

Rośliny naczyniowe: Gatunek	Rodzina	maksymalna ilościowość
<i>Cerastium arcticum</i> Lange coll.	<i>Caryophyllaceae</i>	r
<i>Cerastium regelli</i> Ostenf.	<i>Caryophyllaceae</i>	r
<i>Cochlearia groenlandica</i> L. coll.	<i>Brassicaceae</i>	+
<i>Draba alpina</i> L.	<i>Brassicaceae</i>	r
<i>Draba arctica</i> J. Vahlssp. <i>arctica</i>	<i>Brassicaceae</i>	r
<i>Draba corymbosa</i> R. Br. ex DC.	<i>Brassicaceae</i>	r
<i>Draba micropetala</i> Hook.	<i>Brassicaceae</i>	r
<i>Draba oxycarpa</i> Sommerf.	<i>Brassicaceae</i>	+
<i>Luzula confusa</i> Lindb.	<i>Juncaceae</i>	+
<i>Luzula nivalis</i> (Laest.) Spreng.	<i>Juncaceae</i>	+
<i>Minuartia rubella</i> (Wahlenb.) Hiern	<i>Caryophyllaceae</i>	r
<i>Oxyria dygina</i> (L.) Hill	<i>Polygonaceae</i>	+
<i>Papaver dahlianum</i> Nordh.	<i>Papaveraceae</i>	1
<i>Poa alpina</i> L. var. <i>vivipara</i> L.	<i>Poaceae</i>	r
<i>Poa arctica</i> R.Br.	<i>Poaceae</i>	r
<i>Salix polaris</i> Wahlenb.	<i>Salicaceae</i>	+
<i>Saxifraga cernua</i> L.	<i>Saxifragaceae</i>	1
<i>Saxifraga cespitosa</i> L. ssp. <i>cespitosa</i>	<i>Saxifragaceae</i>	+
<i>Saxifraga oppositifolia</i> L. ssp. <i>oppositifolia</i>	<i>Saxifragaceae</i>	+

<i>Stellaria longipes</i> Goldie coll.	<i>Caryophyllaceae</i>	r
<i>Trisetum spicatum</i> (L.) K.Richt. ssp. <i>spicatum</i>	<i>Poaceae</i>	r

Mszaki:	Gatunek	Rodzina	maksymalna ilościowość
	<i>Aloina brevirostris</i> (Hook., Grev.) Kindb.	<i>Pottiaceae</i>	+
	<i>Bryum bicolor</i> C. Müller	<i>Bryaceae</i>	+
	<i>Bryum calophyllum</i> R.Br.	<i>Bryaceae</i>	+
	<i>Bryum pseudotriquetrum</i> (Hedw.) P.Gaertn. i in.	<i>Bryaceae</i>	1
	<i>Bryum triquetrum</i> Hook., Taylor = <i>Meesia triquetra</i> (Richter) Ångstr.	<i>Bryaceae</i>	+
	<i>Dicranoweisia crispula</i> (Hedw.) Milde	<i>Rhabdoweisiaceae</i>	+
	<i>Distichum inclinatum</i> (Hedw.) Bruch, Schimp.	<i>Ditrichaceae</i>	+
	<i>Niphotrichum canescens</i> (Hedw.) Bednarek-Ochyra, Ochyra = <i>Racomitrium canescens</i> (Hedw.) Brid.	<i>Grimmiaceae</i>	+
	<i>Pogonatum urnigerum</i> (Hedw.) P. Beauv.	<i>Polytrichaceae</i>	+
	<i>Pohlia drummondii</i> (Müll. Hal.) Andrews	<i>Mielichhoferiaceae</i>	+
	<i>Racomitrium lanuginosum</i> (Hedw.) Brid.	<i>Grimmiaceae</i>	1
	<i>Sanionia uncinata</i> (Hedw.) Loeske	<i>Amblystegiaceae</i>	+

Porosty:	Gatunek	maksymalna ilościowość
	<i>Acarospora sinopica</i> (Wahlenb.) Körb.	+
	<i>Amandinea punctata</i> (Hoffm.) Coppins, Scheid.	r
	<i>Aspicilia caesiocinerea</i> (Nyl. ex Malbr.) Arnold	}
	<i>Aspicilia disserpens</i> (Zahlbr.) Räsänen	
	<i>Aspicilia mashiginensis</i> (Zahlbr.) Oxner	
	<i>Buellia aethalea</i> (Ach.) Th. Fr.	r
	<i>Buellia badia</i> (Fr.) A. Massal.	r
	<i>Candelariella aurella</i> (Hoffm.) Zahlbr.	r
	<i>Candelariella vitellina</i> (Ehrh.) Müll. Arg.	r

<i>Carbonea vorticosa</i> (Flörke) Hertel	r
<i>Cetraria ericetorum</i> Opiz	+
<i>Cladonia amaurocraea</i> (Flörke) Schaer.	1
<i>Cladonia mitis</i> Sandst.	1
<i>Cladonia pyxidata</i> (L.) Hoffm.	1
<i>Cladonia gracilis</i> (L.) Willd.	1
<i>Collema ceraniscum</i> Nyl.	+
<i>Eiglera flavida</i> (Hepp) Hafellner	2
<i>Flavocetraria nivalis</i> (L.) Kärnefelt, A. Thell	+
<i>Lecanora atromarginata</i> (H. Magn.) Hertel, Rambold	r
<i>Lecanora polytropa</i> (Ehrh.) Rabenh.	r
<i>Lecidea auriculata</i> Th. Fr.	r
<i>Lecidea lapicida</i> (Ach.) Ach.	r
<i>Ochrolechia frigida</i> (Sw.) Lynge	+
<i>Pertusaria oculata</i> (Dicks.) Th. Fr.	r
<i>Physcia caesia</i> (Hoffm.) Hampe ex Fűrnr.	r
<i>Polyblastia cupularis</i> A. Massal.	+
<i>Polyblastia theleodes</i> (Sommerf.) Th. Fr.	+
<i>Porpidia tuberculosa</i> (Sm.) Hertel, Knoph	r
<i>Protoparmelia badia</i> (Hoffm.) Hafellner	+
<i>Pseudephebe pubescens</i> (L.) M. Choisy	+
<i>Rhizocarpon geographicum</i> (L.) DC.	+
<i>Rhizocarpon grande</i> (Flörke ex Flot.) Arnold	+
<i>Sarcogyne privigna</i> (Ach.) A. Massal.	r
<i>Stereocaulon rivulorum</i> H. Magn.	r
<i>Thelidium pyrenophorum</i> (Ach.) Körb.	r

<i>Tremolecia atrata</i> (Ach.) Hertel	+
<i>Umbilicaria arctica</i> (Ach.) Nyl.	+
<i>Umbilicaria cylindrica</i> (L.) Delise	+
<i>Umbilicaria decussata</i> (Vill.) Zahlbr.	+
<i>Umbilicaria hyperborea</i> (Ach.) Hoffm.	+
<i>Umbilicaria torrefacta</i> (Lightf.) Schrad.	+
<i>Verrucaria acrotella</i> Ach.	r
<i>Verrucaria deversa</i> Vain.	}
<i>Verrucaria obsoleta</i> Lynge	
<i>Xanthoria elegans</i> (Link) Th. Fr.	+

W sąsiedztwie strefy marginalnej Longyearbreen, na zboczach otaczających lodowiec (stanowiska 1, 2, 9, 10; Ryc. 19), zanotowano mszaki i porosty, których nie odnaleziono na samym przedpolu lodowca (Tab. 7). Gatunki te mogą być obecne w starszych częściach strefy marginalnej, prawdopodobne jest również, że z czasem skolonizują obszar przedpola.

Tabela 7. Gatunki roślin naczyniowych, mszaków i porostów zanotowanych w bezpośrednim sąsiedztwie strefy marginalnej lodowca Longyearbreen.

Mszaki: *Andreaea rupestris* Hedw. *Andreaeaceae*

Bartramia ithyphylla Brid. *Bartramiaceae*

Hypnum vaucheri Lesq. *Hypnaceae*

Pohlia annotina (Hedw.) Lindb. *Mielichhoferiaceae*

Lophozia wenzerii (Nees) Steph. *Jungermanniaceae*

Porosty: *Buellia vilis* Th. Fr.

Lecidea atrobrunnea (DC.) Schaer.

Lecidea ramulosa Th. Fr.

Orphniospora moriopsis (A. Massal.) D. Hawksw.

Lecidea plana (J. Lahm) Nyl.

Polyblastia terrestris Th. Fr.

Porpidia melinodes (Körb.) Gowan, Ahti

Rhizocarpon distinctum Th. Fr.

Rhizoplaca melanophthalma (DC.) Leuckert, Poelt

Usnea sphacelata R. Br.

4.3.1. Kolonizacja i sukcesja na transekcje

Dominującą pod względem frekwencji i stopnia pokrycia grupą organizmów na transekcje na przedpolu Longyearbreen były porosty naskalne. Zanotowano je na 13,8% stanowisk (Ryc. 37). Pokrycie porostów naskalnych dochodziło do 30% (Ryc. 34), a bogactwo gatunkowe do 9-10 gatunków na stanowisku. Najczęściej spotykano *Eiglera flavida*, *Verrucaria* spp., *Protoparmelia badia* i *Rhizocarpon geographicum*. *Eiglera flavida* dominowała pod względem ilościowości (Tab. 6), jako jedyny gatunek uzyskując pokrycie do 10%. Stosunkowo duże pokrycie uzyskiwały również gatunki z rodzaju *Aspicilia*.

Rośliny naczyniowe notowane były na 11,7% stanowisk (Ryc. 37), a ich pokrycie sięgało najwyżej 5% (Ryc. 34). Wśród roślin naczyniowych najczęściej spotykane były *Saxifraga oppositifolia*, *Papaver dahlianum* i *Saxifraga cernua* (Ryc. 35). *Papaver dahlianum* i *Saxifraga cernua* osiągały najwyższą ilościowość wśród roślin na transekcje (Tab. 6). Pokrycie procentowe mszaków, notowanych na 9,7% stanowisk (Ryc. 37), sięgało do 5% (Ryc. 34). Najczęściej spotykanymi mszakami, dominującymi również pod względem ilościowości (Tab. 6), były gatunki z rodzaju *Bryum*.

Ukształtowanie terenu na transekcje nie było zróżnicowane. Pojawiały się niewielkie wzniesienia o nachyleniu miejscami sięgającym najwyżej 10 stopni.

4.3.5.1. Stadium 0 (0-187 m)

Około dwóch trzecich długości transektu pozbawionych było roślinności. Na tym odcinku znajdowały się płyty śnieżne. Dość płytko pod powierzchnią moreny znajdował się lód, co mogło powodować ruchy podłoża i przeciwdziałać kolonizacji przez roślinność.

4.3.5.2. Stadium I (188-230 m)

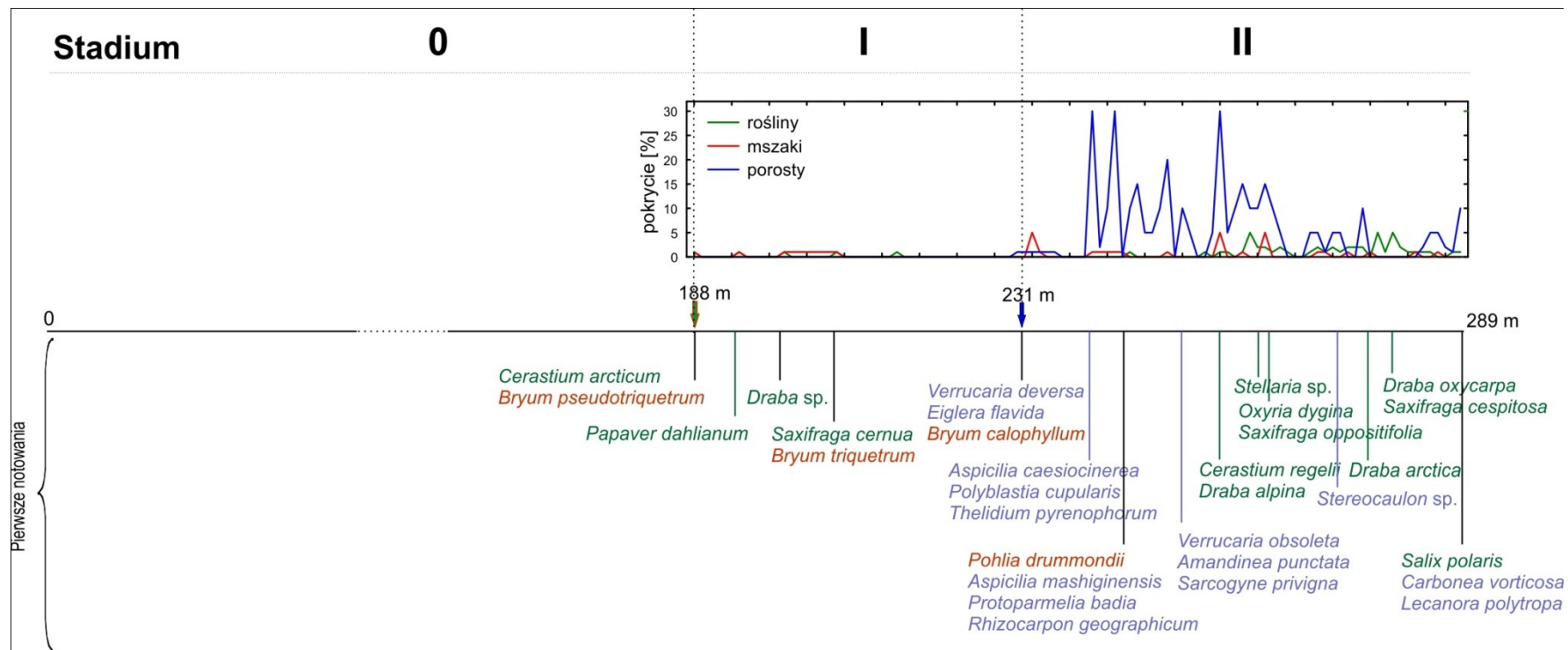
Pierwsze rośliny, *Cerastium arcticum* i *Bryum pseudotriquetrum*, pojawiły się 188 m od początku transektu (Ryc. 34). Następnie notowano, w kolejności pojawiania się, *Papaver dahlianum* (194 m od początku transektu), młode okazy *Draba* sp. (200 m od początku transektu) oraz *Saxifraga cernua* i *Bryum triquetrum* (207 m od początku transektu). Na tym odcinku pokrycie całkowite nie przekraczało 2%. Nie obserwowano także żadnych porostów.

4.3.5.3. Stadium II (231-289 m)

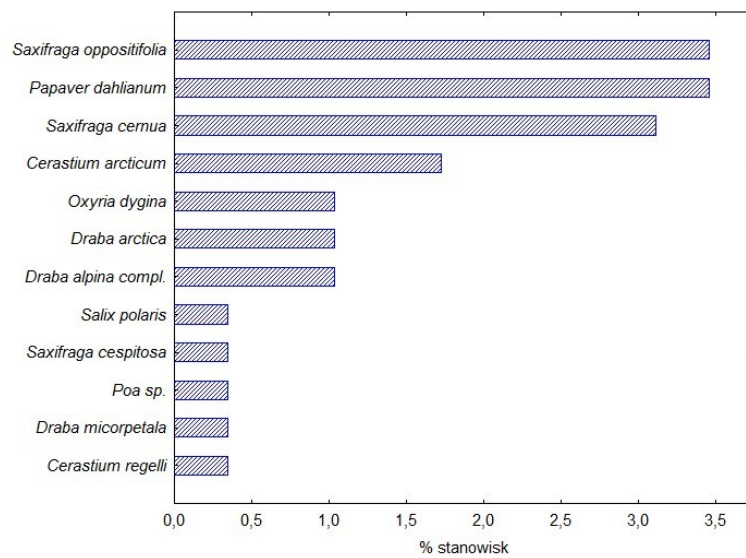
Pierwsze porosty naskalne, *Eiglera flavida* i *Verrucaria deversa*, pojawiły się 231 m od początku transektu. Niemal równoległe z nimi zanotowano mech *Bryum calophyllum* (Ryc. 34). Od momentu pojawienia się kolejnych gatunków porostów, *Aspicilia caesiocinerea*, *Polyblastia cupularis* i *Thelidium pyrenophorum* (241 m od początku transektu), stopień pokrycia porostów zaczął gwałtownie rosnać, dochodząc do 30% (Ryc. 34). Na tym odcinku znajdowano stanowiska o najwyższej różnorodności porostów naskalnych, notując 9-10 gatunków przypadających na stanowisko. Na jednym stanowisku zanotowano także bardzo niewielki okaz porostu z rodzaju *Stereocaulon*.

Pokrycie roślin naczyniowych i mszaków pozostało niskie (Ryc. 34). Na kolejnych metrach transektu zanotowano pierwsze stanowiska mchu *Pohlia drummondii* oraz porostów: *Amandinea punctata*, *Aspicilia mashiginensis*, *Protoparmelia badia*, *Rhizocarpon geographicum*, *Sarcogyne privigna* oraz *Verrucaria obsoleta*.

Pod koniec transektu, na odcinku od 258 m od jego początku pojawiały się kolejno: *Cerastium regelli*, *Draba alpina*, młode okazy z rodzaju *Stellaria*, *Oxyria dygina*, *Draba arctica*, *Draba oxycarpa* oraz *Salix polaris* (Ryc. 33). Równoległe z *S. polaris* zanotowano naskalne porosty *Carbonea vorticosa* i *Lecanora polytropa*. Na tym ostatnim etapie pokrycie roślin naczyniowych nieco wzrosło i dochodziło do 5%.



Ryc. 34. Stadia sukcesji, pokrycie procentowe roślin naczyniowych, mszaków i porostów oraz pierwsze notowania poszczególnych gatunków wzdłuż transektu na przedpolu Longyearbreen. Strzałkami zaznaczono pierwsze notowania roślin naczyniowych, mszaków i porostów.



Ryc. 35. Frekwencja występowania poszczególnych gatunków roślin naczyniowych wzdłuż transektu na przedpolu Longyearbreen.

4.3.2. Stanowiska poza transektem - stadium III sukcesji

Dwa pierwsze stadia sukcesji zostały wyróżnione na przebiegu transektu. Stanowiska 4 i 5, zlokalizowane (Ryc.19) ze względów technicznych już poza transektem, można wyróżnić jako trzecie stadium. Stanowiska te charakteryzują się dużym bogactwem gatunkowym, a także występowaniem naziemnych gatunków porostów. Zanotowano tam następujące gatunki roślin naczyniowych: *Cerastium arcticum*, *Cerastium regelli*, *Cochlearia groenlandica*, *Draba arctica*, *D. alpina*, *D. corymbosa*, *D. micropetala*, *D. oxycarpa*, *Luzula nivalis*, *L. confusa*, *Minuartia rubella*, *Oxyria dygina*, *Papaver dahlianum*, *Poa alpina* var. *vivipara*, *P. arctica*, *Saxifraga cernua*, *S. cespitosa*, *S. oppositifolia*, *Salix polaris*. Mimo dużego bogactwa gatunkowego pokrycie roślin naczyniowych nie przekraczało 5%. Zanotowano również 6 gatunków mchów: *Aloina brevirostris*, *Distichum inclinatum*, *Dicranoweisia crispula*, *Niphotrichum canescens*, *Racomitrium lanuginosum*, *Sanionia uncinata*. Łączne pokrycie mchów i porostów wynosiło około 50%. Oprócz porostów epilitycznych (*Eiglera flavida*, *Lecanora atromarginata*, *Lecanora polytropa*, *Physcia caesia*, *Polyblastia cupularis*, *Polyblastia theleodes*, *Porpidia tuberculosa*, *Protoparmelia badia*, *Rhizocarpon geographicum*, *Rhizocarpon grande*, *Sarcogyne privigna*, *Pseudephebe pubescens*) zanotowano następujące gatunki naziemne: *Cetraria ericetorum*, *Cladonia gracilis*, *C. amaurocraea*, *C. arbuscula*, *C. pyxidata*, *Collema ceraniscum*, *Flavocetraria nivalis*, *Lecidea auriculata*, *Ochrolechia frigida*, *Pertusaria oculata*, *Stereocaulon rivulorum*.

Na stanowisku 8 (Ryc. 19), zlokalizowanym na stoku moreny o nachyleniu ok. 10 stopni, w pobliżu dna doliny, zaobserwowano pojedyncze okazy *Cerastium regelli*, *Oxyria*

dygina, *Papaver dahlianum*, *Saxifraga oppositifolia* i *Draba* sp., a także mech *Niphotrichum canescens*. Znotowano również liczne gatunki porostów epilitycznych: *Acarospora sinopica*, *Aspicilia disserpens*, *Buellia aethalea*, *B. badia*, *Candelariella aurella*, *C. vitellina*, *Carbonea vorticosa*, *Eiglera flavida*, *Lecanora atromargiata*, *L. polytropa*, *Lecidea auriculata*, *Physcia caesia*, *Porpidia tuberculosa*, *Pseudephebe pubescens*, *Rhizocarpon geographicum*, *R. grande*, *Sarcogyne privigna*, *Tremoletia atrata*, *U. arctica*, *U. cylindrica*, *U. decussata*, *U. hyperborea*, *U. torrefacta*, *Verrucaria deversa*. Na glebie znotowano porosty *Flavocetraria nivalis* oraz *Stereocaulon rivulorum*.

4.3.3. Enklawy roślin naczyniowych

Rośliny naczyniowe na przedpolu Longyearbreen rosły bardziej obficie jedynie w enklawach, w miejscach o podłożu złożonym z drobnego żwiru, otoczonych blokami skalnymi. Na stanowisku 6 (Ryc. 19), gdzie pokrycie roślin naczyniowych wynosiło 15%, znotowano wszystkie gatunki obecne również na transekcji (Tab. 6), a dodatkowo *Luzula nivalis*, *L. confusa*, *Poa alpina* var. *vivipara*, *P. arctica*, *Stellaria longipes* oraz *Trisetum spicatum*. Dominowały *Papaver dahlianum* i *Saxifraga cernua*. Większość roślin była w stadium młodocianym. Zaobserwowano również niewielkie, młode okazy mchu z rodzaju *Bryum*. Nie stwierdzono natomiast porostów, zarówno epilitycznych, jak i naziemnych.

Na stanowisku 7 (Ryc. 19) obecne były *Papaver dahlianum* oraz *Draba alpina*, *Oxyria dygina*, *Poa arctica*, *Saxifraga cernua*, *S. cespitosa* i *Salix polaris*, a pokrycie procentowe roślin naczyniowych wynosiło 10%. Na tym stanowisku znotowano niewielkie plechy porostów (całkowite pokrycie 1%) *Eiglera flavida*, *Polyblastia theleodes* oraz *Verrucaria* sp. i *Aspicillia* sp.

W najmłodszej części strefy marginalnej, ogólnie pozbawionej roślinności, zaobserwowano w jednym miejscu (stanowisko 3 - Ryc. 19) pojedyncze okazy *Papaver dahlianum*, *Oxyria dygina* oraz *Bryum* sp.

4.3.4. Wcześni i późni kolonizatorzy

Do wczesnych kolonizatorów na przedpolu Longyearbreen należą *Cerastium arcticum*, *Papaver dahlianum*, *Saxifraga cernua* oraz mchy *Bryum pseudotriquetrum* i *B. triquetrum*. Wszystkie one pojawiły się na transekcji w pierwszym stadium sukcesji. Do

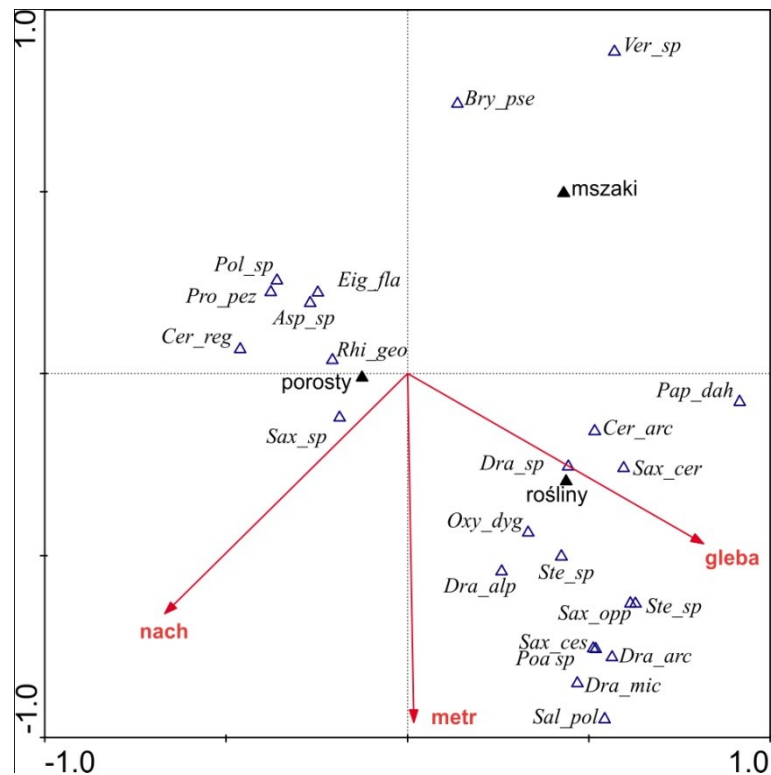
grupy tej zaliczyć należy również *Oxyria dygina*, która choć w przebiegu transektu pojawiła się dość późno, była obserwowana w najmłodszej części strefy marginalnej.

Druga, pośrednia grupa obejmuje gatunki notowane w drugim stadium sukcesji na transekcje: rośliny naczyniowe – *Cerastium regelli*, *Draba* spp., *Salix polaris*, *Saxifraga cespitosa*, *S. oppositifolia*; mchy – *Bryum calophyllum* i *Pohlia drummondi* oraz naskalne porosty. Należą do tej grupy również rośliny zanotowane w enklawach poza transektem: *Luzula nivalis*, *L. confusa*, *Poa alpina* var. *vivipara*, *P. arctica*, *Stellaria longipes* oraz *Trisetum spicatum*.

Grupę najpóźniejszych kolonizatorów stanowią porosty zanotowane na stanowiskach położonych na zboczach strefy marginalnej. Są to naskalne gatunki *Porpidia tuberculosa*, *Pseudephebe pubescens*, *Rhizocarpon grande*, *Umbilicaria* spp., a także porosty naziemne z rodzajów *Cetraria*, *Collema*, *Cladonia*, *Flavocetraria*, *Ochrolechia*, *Pertusaria*, *Stereocaulon*. Do grupy tej należy również szereg gatunków mchów ze stanowisk poza transektem: *Aloina brevirostris*, *Distichum inclinatum*, *Dicranoweisia crispula*, *Niphotrichum canescens*, *Racomitrium lanuginosum*, *Sanionia uncinata*.

4.3.5. Czynniki abiotyczne wpływające na sukcesję

Najwyższy stopień korelacji z ilościowością gatunków wzdłuż transektu miały odległość od początku transektu, stopień nachylenia podłoża oraz zawartość drobnoziarnistego materiału w podłożu (p. Uzupełnienie). Te zmienne najpełniej różnicowały roślinność na transekcje, co potwierdza analiza CCA (Ryc. 36). Odległość od początku transektu okazała się istotna statystycznie ($F=6,16$; $p<0.05$), natomiast dla pozostałych dwóch zmiennych poziom istotności p mieścił się w przedziale od 0,05 do 0,1. Obecność większości roślin naczyniowych związana była z drobnoziarnistym podłożem, bardziej obficie występowały one pod koniec transektu. Mszaki związane były z miejscami płaskimi. Porosty natomiast występowały zazwyczaj w miejscach nachylonych, z wyjątkiem gatunków z rodzaju *Verrucaria*. Ekspozycja zboczy nie miała istotnego znaczenia dla roślinności na transekcje.



Ryc. 36. Porządkowanie gatunków roślin naczyniowych oraz wybranych gatunków mszaków i porostów występujących na transekcji na przedpolu Longyearbreen, wzdłuż pierwszej i drugiej osi kanonicznej analizy zgodności (CCA). Zmienne środowiskowe: „nach” – nachylenie podłoża w stopniach, „metr” – odległość od początku transektu, „gleba” – procentowy udział drobnoziarnistego materiału w podłożu.

4.3.5.1. *Odległość od czoła lodowca i wiek podłoża*

Odległość od czoła lodowca miała podstawowe znaczenie dla roślinności zarówno na transekcji (Ryc. 36), jak i poza nią, co widać po składzie gatunkowym stanowisk 4, 5 i 8. Mimo że dokładne określenie wieku poszczególnych części strefy marginalnej Longyearbreen nie było możliwe, można było przyjąć, że im miejsce położone było dalej od czoła lodowca, tym podłoże w tym miejscu jest starsze. Wyraźny jest więc bezpośredni związek wieku podłoża z formowaniem się pokrywy roślinnej.

4.3.5.2. *Ukształtowanie, ziarnistość i wilgotność podłoża*

Stopień nachylenia podłoża determinował w dużym stopniu rozmieszczenie roślinności wzdłuż transektu (Ryc. 36). Był również potencjalnie istotny na stanowiskach

zlokalizowanych poza transektem na stromych zboczach. Z jednej strony stabilność podłoża na mocno nachylonych zboczach była prawdopodobnie mniejsza niż na płaskim terenie. Z drugiej natomiast, mniejsza wilgotność podłoża stworzyła siedlisko dogodne dla mchów *Niphotrichum canescens* i *Racomitrium lanuginosum* oraz naziemnych porostów krzaczkowatych.

Wzdłuż transektu, stanowiska o dużym udziale drobnoziarnistego materiału w podłożu były równocześnie tymi, na których najczęściej występowały rośliny naczyniowe (Ryc. 36). Jeszcze wyraźniej widać znaczenie drobnoziarnistego podłoża na stanowiskach 6 i 7 (Ryc. 19), gdzie bogactwo gatunkowe roślin naczyniowych było zdecydowanie większe, niż w pozostałej części strefy marginalnej.

Na całym obszarze strefy marginalnej Longyearbreen licznie występowały niewielkie ciekły i zbiorniki wodne. Podmokłe miejsca pozbawione były zazwyczaj roślin naczyniowych, notowano tam natomiast mszaki.

4.3.5.3. Właściwości chemiczne podłoża

Podłoże w strefie marginalnej Longyearbreen miało odczyn kwaśny, miejscami lekko zasadowy (Tab. 8). Największy wpływ miało to na biotę porostów, z których 18 gatunków (40,9% bioty) było zdecydowanie acydofilne, a tylko 4 (9,1%) kalcyfilne. Jeśli chodzi o rośliny naczyniowe, do zdecydowanie acydofilnych gatunków należy *Trisetum spicatum*, a do gatunków kalcyfilnych *Stellaria longipes*. Pozostałe rośliny spotykane są na podłożu o szerszym zakresie kwasowości. Wysoka zawartość żelaza w podłożu (Tab. 8) sprzyjała występowaniu *Tremolecia atrata* i *Acarospora sinopica*. Nie stwierdzono natomiast korelacji między pH podłoża a dystansem od początku transektu.

Tabela 8. Średnie wartości pH oraz zawartość makroelementów i metali ciężkich [mg/kg] w warstwie powierzchniowej gleby w strefie marginalnej Longyearbreen (n=8 prób).

pH (H ₂ O)	6,44±0,96
pH (KCl)	6,45±1,2
Na	2930,56±845,93
Mg	11891,53±733,25
K	42884,38±51976,23
Ca	5523,56±1956,28

P	747,26±236,39
Cr	40,55±7,49
Mn	337,95±113,48
Fe	17801,41±3328,64
Ni	32,85±7,67
Cu	15,72±8,61
Zn	71,87±14,60
Pb	15,55±5,39
Cd	1,01±0,23

4.3.5.4. Działalność zwierząt

Obecność kolonii alczyków na zboczach gór otaczających lodowiec Longyearbreen i jego strefę marginalną spowodowała stałe nawożenie podłoża i powstanie efektu ornitokopofilnego. Odbiło się to w składzie gatunkowym roślinności w strefie marginalnej. Zanotowano szereg porostów uznawanych za ornitokopofilne – gatunki z rodzaju *Umbilicaria*, a także *Physcia caesia*. Rośliną ornitokopofilną jest także *Oxyria dygina*.

Nie zaobserwowano natomiast śladów żerowania reniferów ani na roślinach, ani na krzaczkowatych porostach. Populacja tych zwierząt na otaczającym obszarze jest dość liczna, jednak poszukują one pożywienia w miejscach o bardziej obfitej roślinności.

4.4. Porównanie badanych przedpoli

Ogólny schemat kolejności wkraczania poszczególnych grup organizmów na transektach na przedpolach Gåsbreen i Longyearbreen kształtował się podobnie. Jako pierwsze z badanych grup organizmów pojawiły się na obu transektach rośliny naczyniowe, a niedługo później lub równoległe z nimi pierwsze mchy. Wczesnymi kolonizatorami obecnymi na obu transektach były *Cerastium arcticum* i *Saxifraga cernua*. Wśród najwcześniej pojawiających się mchów były *Bryum pseudotriquetrum* oraz inne gatunki z rodzaju *Bryum*. W następnej kolejności pojawiały się rośliny z rodzaju *Draba*. Jako następna, po mszakach, grupa organizmów pojawiały się porosty epilityczne. Gatunki notowane jako pierwsze charakteryzowały się drobnymi, często endolitycznymi plechami, duża część gatunków (*Polyblastia* spp., *Thelidium* spp.) posiadała owocniki typu perytecjum. Gatunki o większych plechach, w tym *Aspicilia* spp. i *Rhizocarpon* spp., a także rośliny *Salix polaris* i *Silene acaulis* stanowiły grupę późnych kolonizatorów. Porosty naziemne, głównie z rodzajów *Stereocaulon*, *Cetraria* i *Cladonia*, obserwowane były dopiero w najstarszych częściach stref marginalnych.

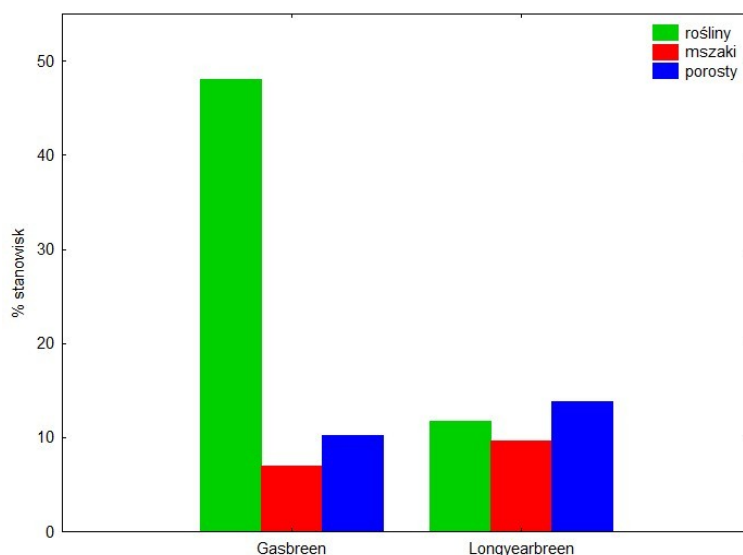
Saxifraga oppositifolia okazała się na obu przedpolach dominującą pod względem frekwencji oraz pokrycia rośliną naczyniową, często notowano też *Cerastium arcticum*. Rośliny naczyniowe najczęściej występowały w miejscach o umiarkowanym stopniu nachylenia, unikając zarówno najbardziej eksponowanych zboczy, jak i podmokłych zagłębień terenu. Rosły również pomiędzy dużymi blokami skalnymi. W wilgotnych miejscach, na drobnoziarnistym podłożu pomiędzy kamieniami, występowała natomiast większość gatunków mchów. Wyjątek stanowiły *Andreaea blyttii* oraz *Hypnum bambergeri*, będące gatunkami naskalnymi. Porosty epilityczne występowały zarówno na dużych blokach skalnych, jak i na mniejszych kamieniach, nawet w miejscach o dużym nachyleniu.

Główne różnice pomiędzy badanymi przedpolami lodowców dotyczą frekwencji i obfitości występowania poszczególnych grup organizmów. Na transekcie na przedpolu Gåsbreen największą frekwencję uzyskały rośliny naczyniowe, a na przedpolu Longyearbreen porosty, głównie naskalne (Ryc. 37). Różnice frekwencji roślin naczyniowych, mszaków i porostów pomiędzy Gåsbreen a Longyearbreen są istotne statystycznie ($p < 0.001$). Podobna zależność widoczna jest w przypadku pokrycia procentowego – na transekcie na przedpolu Gåsbreen dominowały rośliny naczyniowe (Ryc. 24), zaś na przedpolu Longyearbreen porosty (Ryc. 34). Na transekcie na Longyearbreen zanotowano dwukrotnie więcej gatunków

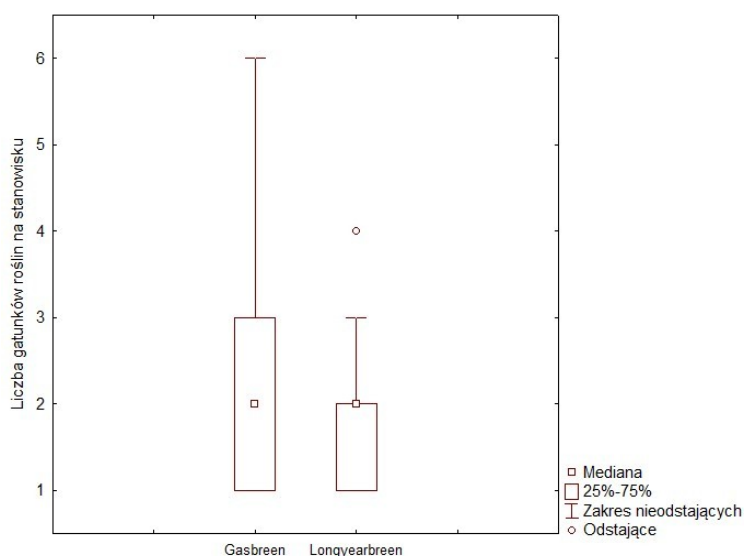
porostów, niż na Gåsbreen (Tab. 2 i 6). Na transekcie na przedpolu Gåsbreen bogactwo gatunkowe roślin naczyniowych, licząc liczbę gatunków na stanowisku, było wyższe, niż na przedpolu Longyearbreen (Ryc. 37). Włączając do analizy dane spoza transektów, można zauważyć, że na przedpolu Longyearbreen porosty naziemne występują w znacząco większej liczbie gatunków i znacznie obficie.

Widoczne są również różnice w składzie gatunkowym roślinności, spowodowane zarówno położeniem geograficznym, jak i czynnikami lokalnymi. Skład roślinności na przedpolach lodowców nawiązuje do zbiorowisk roślinnych występujących w okolicy. Wśród roślin naczyniowych występujących na przedpolu Longyearbreen znajdują się gatunki spotykane najczęściej w środkowej, najcieplejszej części Spitsbergenu – *Stellaria longipes* i *Trisetum spicatum*. Z kolei *Puccinellia vahliana*, jeden z głównych gatunków na przedpolu Gåsbreen, nie był notowany ani w strefie marginalnej Longyearbreen, ani na stanowiskach w pobliżu. Skład bioty porostów na obu transektach również różni się znacznie (Tab. 2 i 6). Główną przyczyną jest duża różnica pH podłoża między przedpołem Gåsbreen a Longyearbreen (Tab. 5 i 8).

Na transekcie na przedpolu Gåsbreen zaobserwowano wycofywanie się niektórych wczesnych kolonizatorów – *Carex lachenalii*, *Cochlearia groenlandica* i *Sagina nivalis* – z najstarszych części strefy marginalnej. Sytuacji takiej nie zaobserwowano na przedpolu Longyearbreen.



Ryc. 37. Porównanie frekwencji roślin naczyniowych, mszaków i porostów na transektach na przedpolach Gåsbreen i Longyearbreen.



Ryc. 38. Porównanie liczby gatunków roślin naczyniowych na stanowisku na transektach na przedpolach Gåsbreen i Longyearbreen.

Skład chemiczny podłoża na badanych przedpolach różnił się znacznie. Zawartość w glebie większości pierwiastków, które przeanalizowano, była istotnie większa ($p < 0,05$) na przedpolu Longyearbreen, niż na przedpolu Gåsbreen (Tab. 5 i 8). Dla ołowiu i potasu różnice nie były statystycznie istotne. Wyjątek stanowiły natomiast mangan i wapń, którego większą zawartość zanotowano w glebie z przedpola Gåsbreen. Część tych różnic (wapń, żelazo) wynika z chemicznych właściwości skał macierzystych podłoża. Fosfor w glebie na przedpolu Longyearbreen pochodzi z nawożenia przez alczyki. Wyższa zawartość metali: niklu, miedzi, cynku, ołowiu i kadmu w glebie na przedpolu Longyearbreen jest natomiast spowodowana najprawdopodobniej bliskością miejscowości Longyearbyen i emisją zanieczyszczeń. Stężenia te są jednak w dalszym ciągu bardzo niskie. Wymienione różnice w składzie chemicznym gleb przekładały się na skład gatunkowy roślinności, co zostało omówione we wcześniejszych akapitach. Nie zauważono natomiast stymulującego wpływu nawożenia przez ptaki na obfitość występowania roślin naczyniowych na przedpolu Longyearbreen. Z drugiej strony, nie zaobserwowano negatywnego wpływu zanieczyszczeń.

5. Dyskusja

Z analizy przebiegu kolonizacji i sukcesji na przedpolach Gåsbreen i Longyearbreen wynika, że w obu przypadkach ostatnie zaobserwowane stadium sukcesji nie jest jeszcze stadium terminalnym. Dopiero w najstarszych częściach stref marginalnych zanotowano pojawienie się porostów z rodzaju *Stereocaulon*, które uważane są za wskaźnik przechodzenia z wczesnego stadium sukcesji do niemal dojrzałych zbiorowisk roślinnych (Moreau i in. 2009). Nawet stanowiska położone w najstarszej części przedpoli różniły się składem gatunkowym i pokryciem od okolicznej tundry. Zbiorowiska tundrowe w okolicach przedpoli badanych lodowców charakteryzują się wyższym ogólnym stopniem pokrycia oraz wyższym udziałem mszaków i porostów naziemnych. Na przedpolu Longyearbreen nie odnotowano obecności *Cassiope tetragona* i *Dryas octopetala*, które są głównym komponentem tundry na tamtym terenie.

Obfite występowanie roślin naczyniowych na obu badanych przedpolach związane było z drobnoziarnistym podłożem. Uboższą roślinność spotykano z kolei w miejscach podmokłych i niestabilnych. Podobną zależność między typem podłoża a występowaniem poszczególnych grup roślinności obserwowano na przedpolu Werenskiöldbreen (Wojtuń i in. 2008). Słabszy rozwój roślinności miał tam miejsce w miejscach silnie uwodnionych i słabo ustabilizowanych. Mszaki i glony dominowały w miejscach stabilnych, na podłożu drobnoziarnistym: okresowo zalanych i strefy pozakorytowe cieków proglacialnych. Rośliny naczyniowe rosły między blokami skalnymi, w miejscach wypełnionych drobnoziarnistymi utworami glebowymi.

Przy analizowaniu różnic między przedpołem Gåsbreen a Longyearbreen należy zachować dużą ostrożność, gdyż wynikają one w dużej mierze z różnicy w powierzchni i ukształtowaniu stref marginalnych. Długość transektu na Longyearbreen jest czterokrotnie mniejsza, niż transektu na Gåsbreen. Nachylona pod niewielkim kątem morena czołowa, stanowiąca większą część strefy marginalnej Longyearbreen, jest bardziej jednorodna pod względem ukształtowania terenu, niż strefa marginalna Gåsbreen. W obrębie tej drugiej występują zarówno rozległe, niemal płaskie obszary, jak i wzniesienia, nieraz strome. Z kolei występowanie na przedpolu Longyearbreen roślin związanych głównie z cieplejszymi rejonami Svalbardu, *Stellaria longipes* i *Trisetum spicatum*, wynika z lokalizacji geograficznej tego terenu i łagodnego, jak na warunki Svalbardu, klimatu. Obecność porostów wydaje się silnie związane ze stabilnością podłoża, stąd dużo większa ich

różnorodność i obfitość występowania na przedpolu Longyearbreen, które jest mniej zróżnicowane geomorfologicznie. Na związek występowania porostów ze stabilnością podłoża zwracał uwagę Kuc (1996), badając okolice lodowców na północnym brzegu fiordu Hornsund.

Nie bez znaczenia są stosunki wodne. Na przedpolu Gåsbreen najbardziej wilgotna część transektu to równocześnie część najmłodsza. Starsze fragmenty składają się w dużej części z wałów morenowych zbudowanych z gruboziarnistego, przepuszczalnego dla wody materiału skalnego. Niełatwo jest więc oddzielić w tym wypadku bezpośredni wpływ wieku podłoża na występowanie roślinności od wpływu warunków wilgotnościowych zwłaszcza, że nie został przeprowadzony pomiar tych ostatnich. Dodatkowo, warkoczowe rzeki lodowcowe, rozlewające się w obrębie młodszej części strefy marginalnej Gåsbreen, potencjalnie mogą zaburzać proces kolonizacji i sukcesji zmywając młode rośliny i transportując je w oddalone miejsca. Znaczący wpływ działalności sieci rzecznej w strefie marginalnej został potwierdzony przez Moreau i in. (2008). Autorzy ci stwierdzili, że w miejscach często przebudowywanych przez wodę obserwowano wcześniejsze stadium sukcesji w stosunku do stanowisk w tym samym wieku, lecz niezalewanych. Na powierzchni strefy marginalnej Longyearbreen z kolei nie ma dużych rzek, występują natomiast drobne zbiorniki wodne, rozsiane na niemal całym przedpolu. Warunki wilgotnościowe na tym terenie różnią się w skali mikrosiedlisk, nie widać natomiast istotnej różnicy między starszymi a młodszymi obszarami.

Wyniki kanonicznej analizy zgodności CCA wskazują na to, że odległość od czoła lodowca, czyli pośrednio wiek podłoża, była głównym czynnikiem wpływającym na rozmieszczenie i obfitość występowania roślinności na obu badanych przedpolach (Ryc. 29 i 36). Duże znaczenie miały również ziarnistość podłoża i nachylenie terenu. W przypadku Gåsbreen główne czynniki abiotyczne wpływające na roślinność różniły się nieco pomiędzy starszą i młodszą częścią transektu (Ryc. 32). Mimo że do analizy wybrano tylko te zmienne, które tłumaczyły największą część zmienności roślinności, nie wszystkie one okazały się statystycznie istotne. Wartości korelacji między zmiennymi abiotycznymi a ilościowością gatunków również były ogólnie niskie (p. Uzupełnienie). Świadczy to o dużym skomplikowaniu relacji między różnymi czynnikami. Możliwe jest, że zmienne, które nie były uwzględnione w analizie, np. wilgotność podłoża i jego odczyn, mają duże znaczenie dla rozmieszczenia gatunków na transektach. Należy również pamiętać o czynnikach biotycznych, takich jak obecność mikroorganizmów glebowych.

Formy życiowe roślin oraz sposób ich rozprzestrzeniania mają wpływ na potencjał kolonizacyjny poszczególnych gatunków. Wszystkie jednoliścienne rośliny notowane na badanych przedpolach zarówno we wczesnych, jak i późniejszych etapach sukcesji, tworzą luźne kępy bądź rosną pojedynczo. Wyjątkiem jest *Poa arctica*, która wytwarza rozłogi i w związku z tym może rozrastać się w duże, luźne darnie. Wcześni kolonizatorzy należący do roślin dwuliściennych, *Sagina nivalis* i *Cochlearia groenlandica*, występują w formie niewielkich rozetek, a *Saxifraga cespitosa* to gatunek poduszkowy. Widać więc, że we wczesnym etapie kolonizacji najczęściej można spotkać drobne rośliny. Rozmnażanie generatywne i kiełkowanie nasion odgrywają prawdopodobnie istotną rolę w kolonizacji, gdyż większość gatunków zaobserwowanych na badanych przedpolach charakteryzuje się wysoką zdolnością kiełkowania (Cooper i in. 2004). Bank nasion w glebie na przedpolach lodowców jest wielokrotnie mniejszy, niż w dojrzałych zbiorowiskach tundrowych na Svalbardzie (Cooper i in. 2004). Mimo to prawdopodobne jest efektywne kolonizowanie przedpoli lodowców przez siewki kiełkujące z nasion, jak również efekt kaskadowy, gdy kiełkowanie nasion zachodzi szybciej w miejscach już porośniętych w pewnym stopniu roślinnością, niż w miejscach pustych. Zależność taką obserwowano na przedpolu lodowca w środkowych Alpach (Erschbamer i in. 2008). Badania prowadzone w Alpach wykazały również, że gatunki będące wczesnymi kolonizatorami, w tym *Oxyria dygina* i *Saxifraga* spp., charakteryzowały się wielokrotnie wyższą produkcją nasion, niż pozostałe rośliny notowane na przedpolu (Stöcklin, Bäumer 1996). Kolonizacja przedpoli lodowców w Arktyce ograniczona jest znacznie silniej, w porównaniu z warunkami alpejskimi, wpływem klimatu. Jednakże, jakościowe zależności można odnieść do sytuacji na badanych przedpolach.

Gatunki dominujące na całej długości przedpoli Gåsbreen i Longyearbreen, *Saxifraga oppositifolia* i *Cerastium arcticum*, to formy płożące, wydajnie rozmnażające się wegetatywnie. Wytwarzanie rozłogów jest kolejną, obok efektywnej produkcji nasion, strategią umożliwiającą kolonizację. Znaczący udział gatunków rozprzestrzeniających się w ten sposób zaobserwowano również w Alpach (Stöcklin, Bäumer 1996). Dodatkową strategią ułatwiającą kolonizację jest pseudożyworodność. *Poa alpina* var. *vivipara* obecna była na całej długości transektu na Gåsbreen. Wysoka frekwencja *P. alpina* świadczy o efektywnej adaptacji tej trawy do warunków na przedpolu lodowca.

W powstawaniu zbiorowisk roślinnych w trakcie sukcesji pierwotnej ważną rolę odgrywa kształtowanie się organicznej warstwy gleby. Proces ten zachodzi w warunkach klimatu arktycznego zdecydowanie wolniej, niż w niższych szerokościach geograficznych.

Wyniki analizy zmian zawartości węgla organicznego na przedpolu lodowca Werenskiöldbreen (Pirożnikow i Górniak 1996), gdzie nie wykazano istotnego jego wzrostu wraz z wiekiem podłoża, pokazują, że w ciągu około 100 lat od ustąpienia lodu procesy glebotwórcze zaszły w stopniu minimalnym. W starszej części przedpola Gåsbreen zawartość węgla organicznego w podłożu jest bardzo niska – ok. 0,2% (Skiba i in. 2002), i biorąc pod uwagę badania z blisko położonego Werenskiöldbreen, można sądzić, że i tu zmiany w tym zakresie są niewielkie. Jednakże nie na każdym przedpolu proces glebotwórczy jest tak mało zaawansowany. Wyniki z przedpola Midtre Lovénbreen (Hodkinson i in. 2003) wskazują na znaczący rozwój gleby wraz z wiekiem podłoża.

Można natomiast zaobserwować, że zwiększenie dostępności związków mineralnych przyspiesza proces kolonizacji. Na dnie wyschniętego jeziora Goesvatnet już po kilku latach pojawiły się pierwsze rośliny. Użyźnione podłoże sprawiło, że rozwinęły się w bezpośredniej bliskości lodowca, mimo, że miejsca takie uważane są zwykle za najmniej przyjazne do rozwoju roślinności, z powodu katabatycznego spływu zimnego powietrza (Brossard i in. 2002; Joly i in. 2003).

Na żadnym z badanych przedpoli lodowców nie zaobserwowano śladów żerowania reniferów, które wybierają raczej bogatsze zbiorowiska. Podobną sytuację opisano na przedpolu Midtre Lovénbreen (Moreau i in. 2009). Obecność dużej populacji reniferów nie wpływała tam na rośliny naczyniowe, odnotowano natomiast zgryzanie naziemnego porostu *Cetraria delisei*. Na przedpolu Longyearbreen zaznaczał się natomiast wpływ położonych w pobliżu miejsc gniazdowania alczyków *Alle alle* i związany z nim efekt ornitokopfilny. Wśród gatunków zanotowanych na tym terenie znalazł się szereg ornitokopfilnych, takich, jak *Oxyria dygina*, *Umbilicaria* spp., czy *Xanthoria elegans*.

Czynnikiem, którego potencjalny wpływ na rozwój roślinności na przedpolach lodowców Svalbardu nie był do tej pory badany, jest antropopresja. W okolicach Longyearbreen duża populacja ludzi obecna jest od wielu dekad. Działalność górnicza i związany z nią transport węgla po powierzchni strefy marginalnej w minionych dekadach mógł z jednej strony przyczynić się do stabilizowania, „udeptywania” jej powierzchni, z drugiej zaś wywoływać osunięcia gruntu, zaburzające rozwój roślinności. Podróżujący przez ten teren turyści mogą uszkadzać rośliny lub nawet zrywać je (choć jest to wbrew prawu), a rozdrabnianie materiału skalnego związane z poszukiwaniem skamieniałości jest potencjalnym zagrożeniem dla porostów epilitycznych.

Osobny problem stanowi obecność roślin introdukowanych, np. *Poa annua*. Nie stwierdzono obecnie ich obecności na żadnym z badanych przedpoli, nie są one również podawane z innych miejsc Svalbardu. Możliwość wkroczenia takich gatunków na przedpola lodowców jest jednak realna. Zjawisko to zaobserwowano już w na wyspie Króla Jerzego w Antarktyce morskiej (Olech, Chwedorzewska 2011), gdzie introdukowana w latach 80-tych XX wieku *Poa annua*, wcześniej obecna wyłącznie w okolicach siedzib ludzkich, rozprzestrzeniła się na teren przedpola lodowca. Niewielka konkurencja ze strony innych roślin ułatwia kolonizację takich terenów przez obce rośliny.

W przebiegu kolonizacji i sukcesji występuje szereg wspólnych cech między przedpolami Gåsbreen i Longyearbreen a przedpolami innych lodowców Spitsbergenu. Dotyczy to głównie kolejności wkraczania poszczególnych grup organizmów i składu gatunkowego grup wczesnych i późnych kolonizatorów. Pierwsze pojawiały się rośliny naczyniowe i mszaki, a porosty dopiero po pewnym czasie (Moreau i in. 2005, 2008). Podobnie jak na badanych przedpolach, wyróżniane stadia sukcesji zróżnicowane były nie tylko ze względu na wiek podłoża, ale także ze względu na jego ukształtowanie i warunki mikrosiedliskowe (Moreau 2005, 2009). *Saxifraga oppositifolia* była dominującym gatunkiem na terenach proglacialnych zarówno na północy (Hodkinson i in. 2003; Moreau i in. 2005), jak i na południu Spitsbergenu (Pirożnikow, Górniak 1992; Wojtuń i in. 2008). *Cerastium arcticum*, *Cochlearia groenlandica*, *Sagina nivalis* oraz *Saxifraga cespitosa* występowały w najmłodszej, około 30-letniej części strefy marginalnej Midtre Lovénbreen (Moreau i in. 2008), a także w najmłodszej części strefy marginalnej Werenskiöldbreen (Wojtuń i in. 2008). Na obu tych przedpolach wyraźnie zaznaczał się udział mszaków w ich najmłodszej części. *Salix polaris* i *Silene acaulis*, mimo że obecne już w najmłodszej części, uzyskiwały wysoką frekwencję dopiero na około 100-letniej morenie Midtre Lovénbreen (Moreau 2008). *Puccinellia vahliana* pojawiła się jako późny kolonizator na przedpolu Werenskiöldbreen (Wojtuń i in. 2008).

Porosty naziemne pojawiały się na przedpolu Midtre Lovénbreen dopiero w najstarszych częściach wałów morenowych (Moreau i in. 2009), podobnie, jak w obu badanych przedpolach. Zwraca uwagę fakt, że wśród pierwszych porostów naziemnych kolonizujących badane przedpola znajdowały się gatunki z rodzaju *Stereocaulon*, posiadające, oprócz fotobionta z gromady *Chlorophyta*, także symbionty sinicowe. Porosty z tego rodzaju były również obserwowane jako jedne z pierwszych naziemnych porostów w strefie marginalnej Midtre Lovénbreen (Moreau i in. 2009) oraz Werenskiöldbreen (Osyczka, inf. ustna).

Zdolność sinic do wiązania azotu atmosferycznego z jednej strony przekłada się na potencjał kolonizacyjny tych porostów (Sancho i in. 2011), z drugiej natomiast ma prawdopodobnie pewien udział w procesach glebotwórczych.

Skład gatunkowy oraz wygląd zbiorowisk na przedpolu Gåsbreen koresponduje z danymi z północnej strony fiordu Hornsund podanymi przez Kuca (1996). Na zboczach gór w pobliżu lodowców oraz na nunatakach na tamtym terenie we wczesnej fazie sukcesji pokrywa roślinna była luźna, a stopień pokrycia przez rośliny naczyniowe minimalny. Bardziej zaznaczała się obecność kępek mszaków, których okazy często były niedojrzałe. Na starszych skałach można było spotkać porosty epilityczne. *Saxifraga cernua* okazała się najbardziej odpornym na niekorzystne warunki pionierem wśród roślin naczyniowych, jako jedyna zasiedlając nunatak. W bezpośredniej bliskości lodowców zaobserwowano następujące gatunki roślin naczyniowych, które były obecne również na przedpolu Gåsbreen: *Cerastium arcticum*, *C. regelli*, *Cochlearia groenlandica*, *Draba alpina*, *Poa alpina*, *Salix polaris*, *Saxifraga cernua*, *S. nivalis*, *S. oppositifolia*, *Silene acaulis*, a także następujące gatunki mszaków: *Brachythecium turgidum*, *Bryum pseudotriquetrum*, *Pohlia cruda*, *Niptotrichum canescens*, *Racomitrium lanuginosum* oraz *Sanionia uncinata*. Dwa gatunki zaobserwowane na północnym brzegu Hornsundu (Kuc 1996), *Bistorta vivipara* i *Papaver dahlianum*, były obecne w pobliżu strefy marginalnej Gåsbreen. Kilka gatunków zaś występowało w strefie marginalnej Longyearbreen (*Bistorta vivipara*, *Dicranoweisia crispula*, *Luzula arctica*, *Oxyria dygina*, *Papaver dahlianum*). Z kolei *Carex lachenalii*, *Deschampsia alpina*, *Draba oxycarpa*, *Puccinellia vahliana* oraz *Trisetum spicatum*, były podane z północnego brzegu Hornsundu, lecz nie z pobliża lodowców.

Niektóre aspekty sukcesji wyglądają natomiast inaczej, niż na innych przedpolach lodowców na Svalbardzie. *Cerastium regelli* i *Sagina nivalis*, obecne od początku procesu sukcesji na przedpolu Gåsbreen, zaliczone zostały przez Wojtunia i in. (2008) do grupy późnych kolonizatorów na przedpolu Werenskiöldbreen. Z kolei Moreau i in. (2008) zaobserwowali wycofywanie się *Saxifraga cespitosa* z najstarszych części strefy marginalnej Midtre Lovénbreen, czego nie zanotowano ani na Gåsbreen, ani na Longyearbreen. Na przedpolach pięciu lodowców w okolicy Petuniabukta (środkowy Spitsbergen), mimo podobnego do obserwowanego podczas obecnych badań składu gatunkowego grupy pierwszych kolonizatorów, nie zaobserwowano wycofywania się pionierskich roślin, a jedynie przybywanie kolejnych gatunków (Prach, Rachlewicz 2011, mat. niepublikowane). Najstarsze stanowiska niewiele różniły się od otaczającej tundry. Odmienny przebieg procesu kolonizacji

w tamtym terenie mógł być uwarunkowany wpływem mikroklimatu – Petuniabukta leży w najcieplejszym i najsuchszym rejonie Spitsbergenu.

Tempo kolonizacji i moment pojawiania się pierwszych roślin są na przedpolach lodowców z różnych części Spitsbergenu zróżnicowane. Na przedpolach Midtre Lovénbreen (Hodkinson i in. 2003) oraz lodowców w okolicy Petuniabukta (Prach, Rachlewicz 2011, mat. niepublikowane) pierwsze rośliny pojawiły się znacznie wcześniej, niż na transekcji na przedpolu Gåsbreen. Na tym pierwszym, już 2 lata po ustąpieniu lodu obserwowano mszaki i sinice, a także pojedyncze siewki *Saxifraga oppositifolia*, a nawet *Salix polaris*. Na przedpolu Gåsbreen tak wczesna kolonizacja miała miejsce jedynie na dnie wyschniętego jeziora Goesvatnet. Prawdopodobnym czynnikiem warunkującym tę różnicę jest większa stabilność podłoża na przedpolu Midtre Lovénbreen, niż na obecnie badanych przedpolach (obserwacja własna). Stabilność podłoża w połączeniu z większym, niż na Gåsbreen i Longyearbreen, udziałem drobnoziarnistego materiału, może również tłumaczyć występowanie stanowisk o niemal pełnej pokrywie roślinnej, a także przekraczające 10% pokrycie *Salix polaris*, *Racomitrium lanuginosum* i porostów naziemnych z rodzaju *Cladonia* i *Cetraria* w starszych częściach strefy marginalnej.

Przy porównaniu przebiegu procesu kolonizacji przedpoli lodowców w rejonach polarnych obu półkul należy brać pod uwagę istotną różnicę w składzie flory tych obszarów. W Antarktyce występują tylko dwa rodzime gatunki roślin kwiatowych, trawa *Deschampsia antarctica* i należący do rodziny *Caryophyllaceae* *Colobanthus quitensis*. Mimo to można dostrzec szereg podobieństw między procesami kolonizacji i sukcesji pierwotnej w Arktyce i Antarktyce. Mech *Bryum pseudotriquetrum* należy do pierwszych kolonizatorów na przedpolach lodowców na Wyspie Króla Jerzego w Antarktyce morskiej (Olech, Massalski 2001). Porosty naziemne w tym rejonie, podobnie jak w Arktyce, należą do późnych kolonizatorów. Zaznacza się tam bardzo duży wpływ stabilności podłoża na tempo kolonizacji (Olech, Massalski 2001) i destrukcyjne działanie rzek proglacialnych (Olech, inf. ustna). Widoczne jest także – o wiele silniej, niż na północy – znaczenie efektu ornitokopofilnego dla składu gatunkowego zbiorowisk i ilościowości gatunków (Olech 1996). W odróżnieniu od badanych obecnie przedpoli lodowców, w strefach marginalnych lodowców na Wyspie Króla Jerzego porosty epilityczne pojawiają się wcześnie w toku sukcesji, czasem przed wszystkimi organizmami naziemnymi (Olech, Massalski 2001).

Metoda chronosekwencji, stosowana podczas obecnych badań, posiada zarówno zalety, jak i ograniczenia. Dzięki poprowadzeniu transektów metr po metrze uzyskano

szczegółowy, niemalże ciągły zapis przemian roślinności na przebiegu transektu. Metoda ta pozwoliła w pewnym stopniu odtworzyć przebieg kolonizacji i sukcesji w przedziale czasowym przekraczającym możliwości obserwacji pojedynczego badacza. Analiza możliwości zastosowania metody chronosekwencji do badań nad sukcesją przeprowadzona przez Walkera i in. (2010) wskazuje, że daje ona wiarygodne wyniki w przypadku stosunkowo ubogich w gatunki zbiorowisk. Warunek ten był niewątpliwie spełniony na obu badanych przedpolach. Z drugiej strony, wszelkie zakłócenia sukcesji, takie, jak działalność cieków wodnych i osunięcia terenu obniżają dokładność badań w oparciu o transekty i należy to brać pod uwagę przy interpretacji wyników. Transekt, nawet poprowadzony w sposób ciągły metr po metrze, zajmuje niewielką część powierzchni badanego terenu, nieunikniona jest zatem utrata informacji z pozostałej części terenu badań. Wyjściem z tej sytuacji jest wyselekcjonowanie dodatkowych stanowisk, jak podczas obecnych badań, bądź też poprowadzenie więcej niż jednego transektu w obrębie tej samej strefy marginalnej. Porównując wyniki obecnych badań z innymi pracami należy zwracać uwagę na różnice w stosowanej metodyce.

Obecne ocieplenie Arktyki przyczynia się do recesji lodowców, lecz nie zawsze przekłada się bezpośrednio na polepszenie warunków termicznych wzrostu roślin na przedpolach lodowców (Wojtuń i in. 2008). Jeśli jednak sprawdzą się scenariusze przewidujące przyspieszenie zmian klimatycznych w najbliższych latach, dynamika procesów kolonizacji i sukcesji zachodzących na przedpolach lodowców (ich tempo, intensywność i rodzaj interakcji między gatunkami etc.) będzie nadal wzrastać. Otwiera to nowe możliwości badań, w tym prowadzenie długofalowego monitoringu. Powtarzanie obecnie przeprowadzonych badań w kilkuletnich odstępach pozwoli uzyskać nowe informacje na temat prędkości i kierunku zmian sukcesyjnych. Można się spodziewać, że zmiany obejmą nie tylko szybko rozwijające się rośliny i porosty naziemne, lecz nawet porosty epilityczne. Na siedliskach, w których konkurencja jest minimalna, rosną one szybciej, niż w dojrzałych zbiorowiskach roślinnych. Poza tym zwiększająca się ilość opadów będzie sprzyjała rozwojowi plech porostów (Sancho i in. 2011).

6. Wnioski

- Kolonizacja na badanych przedpolach lodowców przebiega według ogólnego schematu: rośliny naczyniowe – mszaki – porosty epilityczne – porosty naziemne.
- Grupy wczesnych i późnych kolonizatorów, wyszczególnione w wyniku analizy występowania roślin, mszaków i porostów wzdłuż chronosekwencji, mają zbliżony skład na obu badanych przedpolach. Klasyfikacja do poszczególnych grup odpowiada w większości przypadków wynikom badań z innych przedpola lodowców Spitsbergenu.
- Zaobserwowano częściową wymianę gatunków – ustępowanie w toku sukcesji niektórych wczesnych kolonizatorów i pojawianie się nowych gatunków. Zjawisko to występuje również w innych miejscach na Spitsbergenie, choć nie jest regułą.
- Głównym czynnikiem wpływającym na kolonizację roślinną badanych przedpola lodowców jest wiek podłoża. Proces ten nie jest jednak prostą funkcją czasu, inne czynniki abiotyczne mają bardzo duży wpływ na jego przebieg, a zależności między nimi są złożone. Obok odległości od czoła lodowca, przekładającej się na wiek podłoża, głównym czynnikiem środowiskowym warunkującym skład gatunkowy zbiorowisk jest ukształtowanie terenu i związane z tym różnice mikrosiedliskowe, zwłaszcza w zawartości drobnoziarnistego materiału w podłożu.
- Procesy kolonizacji i sukcesji pierwotnej na badanych przedpolach lodowców zachodzą w sposób ogólnie zbliżony do innych przedpola na Svalbardzie, widać jednak zróżnicowanie tempa i przebiegu tych procesów, związane z lokalnymi czynnikami klimatycznymi i edaficznymi. Można również wyróżnić wspólne cechy sukcesji pierwotnej w Arktyce i Antarktyce.

7. Bibliografia

- Akiyama, H., Masuzaki, H., Yamaguchi, T. (2009) Habitat and morphological differentiation between *Pohlia annotina* and *P. drummondii* (Mniaceae) at higher elevations in Yakushima Island, Japan. *The Bryologist*, 112: 749-761.
- Arndt, D.S., Baringer, M.O., Johnson, M.R. (2010) State of the Climate in 2009. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91: 1-224.
- Bartoszewski, S., Gluza, A., Siwek, K., Zagórski, P. (2009) Temperature and rainfall control of outflow from the Scott Glacier catchment (Svalbard) in the summers of 2005 and 2006. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, 63: 107 — 114.
- Bekku, Y.S. (2004) Soil Microbial Biomass, Respiration Rate, and Temperature Dependence on a Successional Glacier Foreland in Ny-Ålesund, Svalbard. *Respiration*, 36: 395-399.
- Birkenmajer, K. (1990) *Hornsund, Spitsbergen. Geologia, geology 1 : 75 000*. Uniwersytet Śląski, Katowice.
- Brossard, T., Elvebakk, A., Joly, D., Nilsen, L. (2002) Modelling index of thermophily by means of a multi-source database on Brøggerhalvøya Peninsula (Svalbard). *International Journal of Remote Sensing*, 23: 4683-4698.
- Błaszczak, M., Jania, J.A., Hagen, J.O. (2009) Tidewater glaciers of Svalbard : Recent changes and estimates of calving fluxes. *Polish Polar Research*, 30: 85-142.
- CAVM Team (2003) Circumpolar Arctic Vegetation Map (1:7,500,000 scale). *Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF) Map No. 1*. U.S. Fish and Wildlife Service, Anchorage, Alaska.
- Chapin, F.S., Walker, L.R., Fastie, C.L., Sharman, L.C. (1994) Mechanisms of Primary Succession Following Deglaciation at Glacier Bay, Alaska. *Ecological Monographs*, 64: 149-175.
- Convey, P., Smith, R.I.L., Peat, H.J., Pugh, P.J.A. (2000) The terrestrial biota of Charcot Island, eastern Bellingshausen Sea, Antarctica: An example of extreme isolation. *Antarctic Science*, 12: 406-413.
- Cooper, W.S. (1939) A Fourth Expedition to Glacier Bay, Alaska. *Ecology*, 20: 130-155.
- Cooper, W.S. (1931) A Third Expedition to Glacier Bay, Alaska. *Ecology*, 12: 61-95.
- Cooper, W.S. (1923a) The Recent Ecological History of Glacier Bay, Alaska: I. The Interglacial Forests of Glacier Bay. *Ecology*, 4: 93-128.

- Cooper, W.S. (1923b) The Recent Ecological History of Glacier Bay, Alaska: II. The Present Vegetation Cycle. *Ecology*, 4: 223-246.
- Crocker, R.L., Major, T. (1955) Soil Development in Relation to Vegetation and Surface Age at Glacier Bay, Alaska. *Journal of Ecology*, 43: 427-448.
- Dubiel, E. (1990) Vascular plants of the NW Sørkapp Land (Spitsbergen). Distribution and habitats. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Botaniczne*, 21: 7-33.
- Dubiel, E. (1991) Geobotanical problems of NW Sørkapp land (Spitsbergen). *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Botaniczne*, 21: 35-74.
- Dubiel, E., Olech, M. (1991) Phytosociological map of NW Sørkapp Land (Spitsbergen). *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Botaniczne*, 22: 47-54.
- Dubiel, E., Olech, M. (1990) Plant communities of NW Sørkapp Land (Spitsbergen). *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Botaniczne*, 21: 35-74.
- Eckerstorfer, M., Christiansen, H. (2011) The “High Arctic maritime snow climate” in Central Svalbard. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 43: 11-21.
- Elvebakk, A. (1994) A survey of plant associations and alliances from Svalbard. *Journal of Vegetation Science*, 5: 791-802.
- Elvebakk, A. (2005) A vegetation map of Svalbard on the scale 1:3,5 mill. *Phytocoenologia*, 35: 951-967.
- Elvebakk, A. (1997) Tundra diversity and ecological characteristics of Svalbard. W: *Polar and alpine tundra. Ecosystems of the World*, 3. (red. F.E. Wielgolaski), p. 347–359. Elsevier, Amsterdam.
- Elvebakk, A., Hertel, H. (1996) Part 6. Lichens. W: *A catalogue of Svalbard plants, algae, and cyanobacteria*. (red. A. Elvebakk, P. Prestrud), p. 271-359. Norsk Polarinstitut, Oslo.
- Elvebakk, A., Prestrud, P. (red.) (1996) *A catalogue of Svalbard plants, algae, and cyanobacteria*. pp. 395. Norsk Polarinstitut, Oslo.
- Erschbamer, B., Niederfriniger Schlag, R., Winkler, E. (2008) Colonization processes on a central Alpine glacier foreland. *Journal of Vegetation Science*, 19: 855-862.
- Etzelmüller, B., Ødegård, R.S., Vatne, G., Mysterud, R.S., Tonning, T., Sollid, J.L. (2000) Glacier characteristics and sediment transfer system of Longyearbreen and Larsbreen, western Spitsbergen. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, 54: 157-168.

- Fabiszewski, J. (1975) Migracja roślinności na przedpolu lodowca Werenskiölda. *Polskie wyprawy na Spitsbergen, 1972 i 1973; Materiały z Sympozjum Spitsbergeńskiego*. p. 81-88. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- Flakus, A. (2007) Lichenized and lichenicolous fungi from mylonitized areas of the subnival belt in the Tatra Mountains (Western Carpathians). *Annales Botanici Fennici*, 44: 427-449.
- Flora of North America Editorial Committee (2007) *Flora of North America vol 27. Bryophyta*. Oxford University Press. <http://www.efloras.org>.
- Fookes, P.G. (2008) Some aspects of the geology of Svalbard. *Geology Today*, 24: 146-152.
- Frenot, Y., Gloaguen, J.C., Cannavacciuolo, M., Bellido, A. (1998) Primary succession on glacier forelands in the subantarctic Kerguelen Islands. *Journal of Vegetation Science*, 9: 75-84.
- Frisvoll, A.A., Elvebakk, A. (1996) Part 2. Bryophytes. W: *A catalogue of Svalbard plants, fungi, algae and cyanobacteria*. (red. A. Elvebakk, P. Prestrud) p. 57-172. Norsk Polarinstitut, Oslo.
- Fujiyoshi, M., Yoshitake, S., Watanabe, K., Murota, K., Tsuchiya, Y., Uchida, M., Nakatsubo, T. (2010) Successional changes in ectomycorrhizal fungi associated with the polar willow *Salix polaris* in a deglaciated area in the High Arctic, Svalbard. *Polar Biology*, 34: 667-673.
- Førland, E.J., Hanssen-Bauer, I. (2003) Past and future climate variations in the Norwegian Arctic: overview and novel analyses. *Polar Research*, 22: 113-124.
- Hagen, J.O., Liestøl, O., Roland, E., Jørgensen, T. (1993) *Glacier Atlas of Svalbard and Jan Mayen*. pp. 168. Norsk Polarinstitut, Oslo.
- Hill, M.O., Bell, N., Bruggeman-Nannenga, M.A., Brugués, M., Cano, M.J., Enroth, J., Flatberg, K.I., Frahm, J.-P., Gallego, M.T., Garilleti, R., Guerra, J., Hedenäs, L., Holyoak, D.T., Ignatov, M.S., Lara, F., Mazimpaka, V., Muñoz, J., Söderström, L. (2006) An annotated checklist of the mosses of Europe and Macaronesia. *Journal of Bryology*, 28: 198-267.
- Hodkinson, I.D., Coulson, S.J., Webb, N.R. (2003) Community assembly along proglacial chronosequences in the high Arctic: vegetation and soil development in north-west Svalbard. *Journal of Ecology*, 91: 651-663.
- Holyoak, D.T. (2004) Taxonomic notes on some European species of *Bryum* (*Bryopsida: Bryaceae*). *Journal of Bryology*, 26: 247-264.

- Hultén, E., Fries, M. (1986) *Atlas of North European vascular plants (North of the Tropic of Cancer) I. Introduction. Taxonomic index to the maps 1-996. Maps 1-996.* pp. 498. Koeltz Scientific Books, Königstein, Germany.
- Index Fungorum, <http://www.indexfungorum.org>. Dostęp: 04-06.2011.
- Joly, D., Nilsen, L., Fury, R., Elvebakk, A., Brossard, T. (2003) Temperature interpolation at a large scale: Test on a small area in Svalbard. *International Journal of Climatology*, 23: 1637-1654.
- Jones, G.A., Henry, G.H.R. (2003) Primary plant succession on recently deglaciated terrain in the Canadian High Arctic. *Journal of Biogeography*, 30: 277-296.
- Jumpponen, A., Vare, H., Mattson, K.G., Ohtonen, R., Trappe, J.M. (1999) Characterization of "safe sites" for pioneers in primary succession on recently deglaciated terrain. *Journal of Ecology*, 87: 98-105.
- Jónsdóttir, I.S. (2005) Terrestrial Ecosystems on Svalbard: Heterogeneity, Complexity and Fragility from an Arctic Island Perspective. *Biology, Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, 105: 155-165.
- Karczewski, A. (1984) *Hornsund, Spitsbergen. Geomorfologia, geomorphology 1 : 75 000.* Uniwersytet Śląski, Katowice.
- Kaufmann, R. (2002) Glacier foreland colonisation: distinguishing between short-term and long-term effects of climate change. *Oecologia*, 130: 470-475.
- Kostrzewski, A., Rachlewicz, G., Zwoliński, Z. (2007) Zmiany funkcjonowania geosystemów lądowych Arktyki. W: *Zmiany klimatyczne w Arktyce i Antarktyce w ostatnim pięćdziesięcioleciu XX wieku i ich implikacje środowiskowe.* (red. A. Marsz, A. Styszyńska), p. 289–309. Akademia Morska, Wydział Nawigacyjny Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej, Komitet Badań Polarnych PAN Komisja Meteorologii i Klimatologii, Gdynia.
- Krzewicka, B., Maciejowski, W. (2008) Lichen species from the northeastern shore of Sørkapp Land (Svalbard). *Polar Biology*, 31: 1319-1324.
- Kuc, M., Dubiel, E. (1995) The vascular plants of the Hornsund area (SW Spitsbergen). *Fragmenta Floristica et Geobotanica*, 40: 797-824.
- Kuc, M. (1964) Deglaciation of Treskelen-Treskelodden in Hornsund, Vestspitsbergen, as shown by vegetation. *Studia Geologica Polonica*, 11: 197-206.
- Kuc, M. (1996) The vegetation zones of the Hornsund area (SW Spitsbergen). *XXIII Sympozjum polarne. 23rd Polar symposium. Sosnowiec, 27-19 IX 1996.* (red. W.E.

- Krawczyk), p. 67-82. Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Komitet Badań Polarnych PAN, Klub Polarny Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Sosnowiec.
- Lüth, M. (2007) Additions to the bryophyte flora of Bulgaria. *Cryptogamie, Bryologie*, 28: 237-241.
- Łupikasza, E. (2008) Zależność występowania rodzajów opadów od temperatury powietrza w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-2007. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 18: 99-112.
- Łupikasza, E. (2009) Zmiany intensywności opadów w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-2008. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 19: 169-188.
- Marsz, A., Styszyńska, A. (2007) *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie- stan, zmiany i przyczyny*. pp. 376. Wydawnictwo Akademii Morskiej, Gdynia.
- Menne, M.J., Kennedy, J.J. (2010) Global Surface Temperatures [in "State of the Climate in 2009"]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91: 24-25.
- Meteorologisk institutt (Norweski Instytut Meteorologiczny), <http://www.eklima.no>. Dostęp 9.05.2011.
- Mizuno, K. (1998) Succession Processes of Alpine Vegetation in Response to Glacial Fluctuations of Tyndall Glacier, Mt. Kenya, Kenya. *Arctic and Alpine Research*, 30: 340-348.
- Moreau, M., Laffly, D., Joly, D., Brossard, T. (2005) Analysis of plant colonization on an arctic moraine since the end of the Little Ice Age using remotely sensed data and a Bayesian approach. *Remote Sensing of Environment*, 99: 244-253.
- Moreau, M., Mercier, D., Laffly, D., Roussel, E. (2008) Impacts of recent paraglacial dynamics on plant colonization: A case study on Midtre Lovénbreen foreland, Spitsbergen (79°N). *Geomorphology*, 95: 48-60.
- Moreau, M., Laffly, D., Brossard, T. (2009) Recent spatial development of Svalbard strandflat vegetation over a period of 31 years. *Polar Research*, 28: 364-375.
- Mori, A.S., Osono, T., Uchida, M., Kanda, H. (2007) Changes in the structure and heterogeneity of vegetation and microsite environments with the chronosequence of primary succession on a glacier foreland in Ellesmere Island, high arctic Canada. *Ecological Research*, 23: 363-370.
- Nakatsubo, T., Bekku, Y.S., Uchida, M., Muraoka, H., Kume, A., Ohtsuka, T., Masuzawa, T., Kanda, H., Koizumi, H. (2005) Ecosystem development and carbon cycle on a glacier

- foreland in the high Arctic, Ny-Alesund, Svalbard. *Journal of Plant Research*, 118: 173-179.
- Nakatsubo, T., Fujiyoshi, M., Yoshitake, S., Koizumi, H., Uchida, M. (2010) Colonization of the polar willow *Salix polaris* on the early stage of succession after glacier retreat in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Research*, 29:, 385-390.
- National Climatic Data Centre, <http://www.ncdc.noaa.gov>. Dostęp: kwiecień 2011.
- Newsham, K.K. (2010) The biology and ecology of the liverwort *Cephaloziella varians* in Antarctica. *Antarctic Science*, 22: 131-143.
- Norsk Polarinstitut, *Geological Database for Svalbard and Jan Mayen*, <http://kart.npolar.no/website/barentsgeo/>. Dostęp: czerwiec 2011.
- Norsk Polarinstitut, (1947) *Topografisk Kart over Svalbard, 1:10,000, C13 Sørkapp*.
- Norsk Polarinstitut, (1986) *Topografisk Kart over Svalbard, 1:10,000, C13 Sørkapp*.
- Norsk Polarinstitut, *TopoSvalbard*, <http://toposvalbard.npolar.no>. Dostęp: czerwiec 2011.
- Ochyra, R., Lewis Smith, R., Bednarek-Ochyra, H. (2008) *The illustrated moss flora of Antarctica*. pp. 685. Cambridge University Press.
- Ohtonen, R., Fritze, H., Pennanen, T., Jumpponen, A., Trappe, J. (1999) Ecosystem properties and microbial community changes in primary succession on a glacier forefront. *Oecologia*, 119: 239-246.
- Olech, M. (1987) Materials to the lichen flora of Hornsund (SW Spitsbergen). *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Botaniczne*, 15: 165-168.
- Olech, M. (1990) Lichens of the NW Sørkapp Land (Spitsbergen). *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Botaniczne*, 21: 197-210.
- Olech, M. (1996) Plant colonization and community development on the Ecology glacier moraines. W: *Proceedings of the International Workshop "Antarctic Research on Taxonomy and Ecology of Algae" 1-3 October 1996*. (red.M. Olech) p. 15-17. Institute of Botany Jagiellonian University, Cracow.
- Olech, M., Chwedorzewska, K.J. (2011) The first appearance and establishment of an alien vascular plant in natural habitats on the forefield of a retreating glacier in Antarctica. *Antarctic Science*. in press. DOI: 10.1017/S0954102010000982
- Olech, M., Massalski, A. (2001) Plant colonization and community development in the Sphinx Glacier forefield. *Folia Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Masarykianae Brunensis, Geographia*, 25: 111-119.

- Osyczka, P. (2006) The lichen genus *Cladonia* (Cladoniaceae, lichenized Ascomycota) from Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 27: 207-242.
- Osyczka, P., Kukwa, M., Olech, M. (2009) Notes on the lichen genus *Lepraria* from maritime (South Shetlands) and continental (Schirmacher and Bunger Oases) Antarctica. *Polar Biology*, 33: 627-634.
- Øvstedal, D.O., Tønsberg, T., Elvebakk, A. (2009) The Lichen Flora of Svalbard. *Sommerfeltia*, 33: 1- 393.
- Palmer, W.H., Miller, A.K. (1961) Botanical Evidence for the Recession of a Glacier. *Oikos*:12, 75-86.
- Pirożnikow, E., Górniak, A. (1992) Changes in the characteristics of the soil and vegetation during the primary succession in the marginal zone of the Werenskiöld glacier, Spitsbergen. *Polish Polar Research*, 13: 19-29.
- Prach, K., Rachlewicz, G. (2011) Vegetation succession in front of retreating glaciers in central Svalbard. Praca w przygotowaniu.
- Prestrud, P., Strøm, H., Goldman, H.V. (red.)(2004) *A catalogue of the terrestrial and marine animals of Svalbard*. pp. 137. Norsk Polarinstitut, Tromsø.
- Przybylak, R. (2007a) Recent air-temperature changes in the Arctic. *Annals of Glaciology*, 46: 316-324.
- Przybylak, R. (2007b) Zmiany temperatury powietrza w Arktyce w okresie 1819 – 2005. *Sesja sprawozdawcza "Struktura, ewolucja i dynamika litosfery, kriosfery i biosfery w europejskim sektorze Arktyki oraz w Antarktyce (2004-2007). Projekt Zamawiany: PBZ-KBN-108/PO4/2004-2007."* p. 5-7. Komitet Badań Polarnych PAN.
- Rachlewicz, G. (2009) River floods in glacier-covered catchments of the High Arctic: Billefjorden-Wijdefjorden, Svalbard. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, 63: 115 — 122.
- Raffl, C., Erschbamer, B. (2004) Comparative vegetation analyses of two transects crossing a characteristic glacier valley in the Central Alps. *Phytocoenologia*, 34: 225-240.
- Rebernick, C.A., Domaschke, S., Alsos, I.G., Elven, R. (2009) *Ecology and taxonomy of Puccinellia taxa in Svalbard*. UNS AB-326 Course Report. unpubl.
- Redchenko, O., Košnar, J., Gloser, J. (2010) A contribution to lichen biota of the central part of Spitsbergen, Svalbard Archipelago. *Polish Polar Research*, 31: 159-168.
- Robbins, J.A., Matthews, J.A. (2009) Pioneer vegetation on glacier forelands in southern Norway: emerging communities? *Journal of Vegetation Science*, 20: 889-902.

- Rønning, O.I. (1996) *The Flora of Svalbard*. pp. 184. Norsk Polarinstitut, Oslo.
- Sancho, L.G., Palacios, D., Green, A.T.G., Vivas, M., Pintado, A. (2011) Extreme high lichen growth rates detected in recently deglaciated areas in Tierra del Fuego. *Polar Biology*, 34: 813-822.
- Sapek, A., Sapek, B. (1997) *Metody analizy chemicznej gleb organicznych. Materiały Instrukcyjne nr 115, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych*, pp. 80. Wydawnictwo IMUZ.
- Skiba, S., Drewnik, M., Kacprzak, A. (2002) Gleby zachodniego wybrzeża Sørkapplandu [Soils of the Western coast of Sørkappland]. W: *Struktura i funkcjonowanie środowiska przyrodniczego Sørkapplandu (Spitsbergen, Svalbard) [Sørkappland landscape structure and functioning (Spitsbergen, Svalbard)]*. (red. W. Ziąja, S. Skiba), p. 51-86. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Smith, A. J. E. (1978) *The moss flora of Britain and Ireland*. pp. 706. Cambridge University Press.
- Smith, C.W., Aptroot, A., Coppins, B.J., Fletcher, A., Gilbert, O.L., James, P.W., Wolseley, P.A. (2009) *The Lichens of Great Britain and Ireland*. pp. 1046. British Lichen Society, London.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (red.) (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*. pp. 996. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- Sommerville, P., Mark, A.F., Wilson, J.B. (1982) Plant succession on moraines of the upper Dart Valley, southern South Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Botany*, 20: 227-244.
- StatSoft, Inc. (2009) STATISTICA (data analysis software system), version 9.0. <http://www.statsoft.com>.
- Stöcklin, J., Bäumler, E. (1996) Seed rain, seedling establishment and clonal growth strategies on a glacier foreland. *Journal of Vegetation Science*, 7: 45–56.
- Strøm, H., Bangjord, G. (2004) Chapter 4. The bird and mammal fauna of Svalbard. W: *A catalogue of the terrestrial and marine animals of Svalbard* (red. P. Prestrud, H. Strøm, H. V. Goldman) p. 123–137. Norsk Polarinstitut, Tromsø.

- Svalbard Pictographic Invertebrate Database and Educational Resource,
<http://svalbardinsects.net>. Dostęp: czerwiec 2011.
- Svendsen, J.I., Mangerud, J. (1997) Holocene glacial and climatic variations on Spitsbergen, Svalbard. *Holocene*, 7: 45-57.
- Świąś, F., Karczmarz, K. (1993) Bryophytes collected in the arctic tundra of Calypsostranda region (Western Spitsbergen) in 1987 and 1988. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin-Polonia Sectio C*, 48 (7): 49-66.
- Ter Braak, C.J.F., Šmilauer, P. (2002) *CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (v 4.5)*. Ithaca: Microcomputer Power, New York.
- The Flora of Svalbard, <http://www.svalbardflora.net>. Dostęp: marzec-czerwiec 2011.
- The Governor of Svalbard, <http://www.syssemmannen.no>. Dostęp: 10.05.2011.
- Thomson, J.W. (1984) *American Arctic Lichens. 1. The Macrolichens*. pp. 504. Columbia University Press, New York.
- Thomson, J.W. (1997) *American Arctic Lichens. 2. The Microlichens*. pp. 675. The University of Wisconsin Press.
- Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden, B., Zhai, B. (2007) Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (red. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller), p. 235-336 Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- Uchida, M., Nakatsubo, T., Kanda, H., Koizumi, H. (2006) Estimation of the annual primary production of the lichen *Cetrariella delisei* in a glacier foreland in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Research*, 25: 39-49.
- van der Wal, R., Brooker, R., Cooper, E., Langvatn, R. (2001) Differential effects of reindeer on high Arctic lichens. *Journal of Vegetation Science*, 12: 705-710.
- Walker, D. A., Raynolds, M.K., Daniëls, F.J. A, Einarsson, E., Elvebakk, A., Gould, W. A, Katenin, A.E., Kholod, S.S., Markon, C.J., Melnikov, E.S., Moskalenko, N.G., Talbot, S.S., Yurtsev, B. A. (2005) The Circumpolar Arctic vegetation map. *Journal of Vegetation Science*, 16: 267-282.

- Walker, L. R., Wardle, D. A., Bardgett R. D., Clarkson, B. D. (2010) The use of chronosequences in studies of ecological succession and soil development. *Journal of Ecology*, 98: 725-736.
- Winsnes, T.S., Birkenmajer, K., Dalmann, W.K., Hjelle; A., Salvigsen, O. (1993) *Geological Map, C13G Sørkapp, Svalbard. 1:100,000*. Norsk Polarinstitutt Themakart no. 17.
- Wojtuń, B., Matuła, J., Pereyma, J. (2008) Kolonizacja przedpola lodowca Werenskiolda (Spitsbergen Zachodni) przez sinice i rośliny. W: *Środowisko przyrodnicze obszarów polarnych*. (red. A. Kowalska, A. Latocha, H. Maszałek, J. Pereyma), p. 228-236. Wrocław.
- Worsley, P., Ward, M.R. (1974) Plant Colonization of Recent "Annual" Moraine Ridges at Austre Okstindbreen, North Norway. *Arctic and Alpine Research*, 6: 217-230.
- Yoshitake, S., Uchida, M., Koizumi, H., Nakatsubo, T. (2007) Carbon and nitrogen limitation of soil microbial respiration in a High Arctic successional glacier foreland near Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Research*, 26: 22-30.
- Zemp, M., Roer, I., Kääh, A., Hoelzle, M., Paul, F., Haeberli, W. (2008) *Global Glacier Changes : facts and figures*. pp. 88. United Nations Environment Programme, World Glacier Monitoring Service.
- Ziaja, W. (2002) Zmiany w strukturze środowiska przyrodniczego Sørkapplandu [Changes in the landscape structure of Sørkappland]. W: *Struktura i funkcjonowanie środowiska przyrodniczego Sørkapplandu (Spitsbergen, Svalbard) [Sørkappland landscape structure and functioning (Spitsbergen, Svalbard)]*. (red. W. Ziaja, S. Skiba), pp. 18-50. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Ziaja, W. (2011) Climate warming. W: *Transformation of the natural environment in Western Sørkapp Land (Spitsbergen) since the 1980s* (W. Ziaja, J. Dudek, M. Lisowska, M. Olech, K. Ostafin, P. Osyczka, M. Węgrzyn). Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków. in press.
- Ziaja, W., Dubiel, E. (1996) Vascular plants succession during contemporary deglaciation in the mountains of Nordenskiöld Land, Spitsbergen. *XXIII Sympozjum polarne. 23rd Polar symposium. Sosnowiec, 27-19 IX 1996*. (ed W.E. Krawczyk). p. 99-110. Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec.
- Ziaja, W., Dudek, J. (2011) Glacial recession. W: *Transformation of the natural environment in Western Sørkapp Land (Spitsbergen) since the 1980s* (W. Ziaja, J. Dudek, M.

Lisowska, M. Olech, K. Ostafin, P. Osyczka, M. Węgrzyn). Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków. in press.

Ziaja, W., Ostafin, K. (2007) Współczesna przemiana krajobrazu lodowca Gas i okolicy. *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia. Abiotic environment of Spitsbergen in 2005 and 2006 in global warming conditions.* (red. R. Przybylak, M. Kejna, A. Arażny, P. Głowacki). p. 235-245. Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Instytut Geofizyki PAN w Warszawie, Toruń.

Ziaja, W., Ostafin, K., Dudek, J. (2011) Transformation of landforms and Quaternary deposits. W: *Transformation of the natural environment in Western Sørkapp Land (Spitsbergen) since the 1980s* (W. Ziaja, J. Dudek, M. Lisowska, M. Olech, K. Ostafin, P. Osyczka, M. Węgrzyn). Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków. in press.

8. Uzupełnienie

8.1. Tabela korelacji porządku rang Spearmana dla zmiennych notowanych na transekcie wzdłuż przedpola Gåsbreen

Zmienne: „metr” – odległość od początku transektu; „wiek” – kategorie wiekowe podłoża; 0, S, N, E, W – ekspozycja; „gleba” – zawartość drobnoziarnistego materiału w podłożu; „nach” – nachylenie terenu.

Wartości istotne statystycznie dla $p < 0,05$ wytłuszczone.

	metr	wiek	0	S	N	E	W	gleba	nach
rośliny	0,279	0,184	0,028	0,060	-0,116	0,058	-0,037	0,127	-0,061
mszaki	0,195	0,141	-0,034	0,019	0,033	-0,046	-0,001	0,002	0,019
porosty	0,493	0,382	-0,165	-0,141	0,353	-0,049	-0,017	-0,322	0,227
<i>Carex lachenalii</i>	-0,349	-0,225	-0,028	0,119	-0,080	-0,054	-0,030	-0,040	-0,182
<i>Poa alpina</i> var. <i>vivipara</i>	-0,116	-0,199	0,037	0,096	-0,120	-0,035	-0,042	0,073	-0,094
<i>Sagina nivalis</i>	-0,283	-0,306	0,015	0,062	-0,056	-0,069	-0,016	-0,056	-0,232
<i>Saxifraga cernua</i>	-0,152	-0,215	0,046	0,022	-0,036	-0,054	-0,030	-0,007	-0,143
<i>Saxifraga cespitosa</i>	-0,103	-0,223	0,097	0,089	-0,145	-0,097	-0,024	0,070	-0,118
<i>Cochlearia groenlandica</i>	-0,112	-0,085	-0,059	0,072	-0,009	-0,031	-0,017	0,084	-0,003
<i>Cerastium regelli</i>	-0,023	-0,076	-0,017	0,010	-0,018	0,039	-0,027	0,046	-0,007
<i>Cerastium arcticum</i>	0,156	0,171	0,032	-0,008	-0,132	0,200	0,060	0,206	-0,028
<i>Draba alpina</i> compl.	0,053	0,024	-0,021	0,117	-0,127	0,016	-0,032	0,177	0,038
<i>Draba</i> sp.	-0,005	-0,062	0,010	0,049	-0,055	-0,020	-0,011	0,062	-0,013
<i>Puccinellia vahliana</i>	0,240	0,333	-0,028	0,109	-0,131	0,093	-0,039	0,210	0,070
<i>Silene acaulis</i>	0,030	0,040	-0,018	0,035	-0,019	-0,007	-0,004	0,040	0,000
<i>Saxifraga nivalis</i>	-0,003	-0,031	0,068	-0,035	-0,019	-0,007	-0,004	-0,062	-0,049
<i>Salix polaris</i>	0,045	0,070	-0,009	0,028	-0,048	0,058	-0,010	0,084	-0,019
<i>Saxifraga oppositifolia</i>	0,538	0,502	-0,033	-0,071	0,053	0,138	0,002	0,021	0,118
l. gat. roślin naczyniowych	0,050	0,006	0,029	0,112	-0,190	0,079	-0,038	0,168	-0,141
<i>Andreaea blyttii</i>	0,096	0,106	-0,048	0,066	-0,052	-0,019	0,110	-0,069	0,030
<i>Aspicilia</i> spp.	0,151	0,134	-0,060	-0,118	0,211	-0,023	-0,013	-0,144	0,055
<i>Polyblastia</i> spp.	0,154	0,138	-0,070	-0,065	0,161	-0,027	-0,015	-0,103	0,068
<i>Verrucaria</i>	0,157	0,146	-0,066	-0,089	0,184	-0,025	-0,014	-0,110	0,073

8.2. Tabela korelacji porządku rang Spearmana dla zmiennych notowanych na transekcie wzdłuż przedpola Longyearbreen

Zmienne: „metr” – odległość od początku transektu; N, E, 0 – ekspozycja; „nach” – nachylenie terenu; „gleba” – zawartość drobnoziarnistego materiału w podłożu.

Wartości istotne statystycznie dla $p < 0,05$ wytłuszczone.

	metr	N	E	0	nach	gleba
rośliny	0,555	-0,317	0,407	-0,154	0,459	0,260
mszaki	-0,036	-0,146	0,268	-0,161	0,001	-0,040
porosty	0,513	-0,144	0,370	-0,292	0,646	-0,356
<i>Cerastium arcticum</i>	0,150	-0,104	0,159	-0,086	0,104	0,100
<i>Cerastium regelli</i>	0,063	-0,046	0,070	-0,038	0,094	-
<i>Draba</i> sp.	0,206	-0,114	0,175	-0,095	0,135	0,101
<i>Draba arctica</i>	0,247	-0,080	0,122	-0,066	0,165	0,140
<i>Draba alpina</i> compl.	0,166	-0,080	0,122	-0,066	0,165	-0,044
<i>Draba micropetala</i>	0,225	-0,065	0,099	-0,053	0,134	0,067
<i>Oxyria dygina</i>	0,173	-0,080	0,122	-0,066	0,165	0,077
<i>Papaver dahlianum</i>	0,151	-0,151	0,092	0,071	0,113	0,276
<i>Poa</i> sp.	0,140	-0,046	0,070	-0,038	0,094	0,048
<i>Saxifraga cernua</i>	0,305	-0,142	0,144	-0,014	0,232	0,120
<i>Saxifraga cespitosa</i>	0,140	-0,046	0,070	-0,038	0,094	0,048
<i>Saxifraga oppositifolia</i>	0,356	-0,142	0,217	-0,118	0,295	0,351
<i>Saxifraga</i> sp.	0,179	-0,104	0,159	-0,086	0,215	-0,199
<i>Salix polaris</i>	0,170	-0,046	0,070	-0,038	0,094	0,048
<i>Stellaria longipes</i>	0,211	-0,092	0,141	-0,076	0,192	0,177
<i>Aspicilia</i> spp.	0,202	-0,059	0,189	-0,163	0,352	-0,389
<i>Eiglera flavida</i>	0,210	0,021	0,119	-0,157	0,306	-0,338
<i>Polyblastia</i> spp.	0,038	-0,065	0,099	-0,053	0,134	-0,165
<i>Protoparmelia badia</i>	0,082	-0,114	0,175	-0,095	0,237	-0,297
<i>Rhizocarpon geographicum</i>	0,134	-0,114	0,175	-0,095	0,237	-0,212
<i>Verrucaria</i> spp.	-0,002	0,401	-0,221	-0,118	0,072	-0,321
<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	-0,107	-0,114	0,175	-0,095	0,033	-0,134